

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2008

MONIKA HAVELKOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra oděvnictví
Obor 3106T005 Oděvní technologie

STUDIUM DĚJŮ PŘI PŘETRHU TEXTILIE
POMOCÍ TERMORIZACE

THERMOGRAPHY RESEARCH OF
TEXTILE BREAK PROCESSES

KOD - 775

Řešitel: **Monika Havelková**

Kód řešitele: **T00321061**

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs**

Rozsah práce:

Počet stran: 104

Počet obrázků: 53

Počet tabulek: 11

Rozsah příloh:

Počet příloh: 5

Počet stran: 20

LIBEREC 2007

MONIKA HAVELKOVÁ

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že předložená *diplomová* práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním *diplomové* práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 4.Ledna 2008

.....

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce panu prof. Dr. Ing. Zdeňkovi Kůsovi za poskytnuté informace a připomínky při jejím zpracování.

Dále děkuji panu Ing. Jiřímu Svobodovi ze společnosti TMV SS, spol. s r.o. za odborné rady z oblasti termografie, vřelý přístup a zapůjčení softwaru pro zpracování dat z termovizního měření.

Poděkování patří v neposlední řadě mému manželovi, který mi byl velkou oporou nejen při zpracování této práce, ale i po celou dobu mého studia na textilní fakultě.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřená na studium vznikajících dějů při přetrhu plošných textilií pomocí termovizní kamery. Pro úspěšné provedení experimentu je nejprve nutné provést v rešeršní části teoretický rozbor mechanických vlastností délkových a plošných textilií, především jejich pevnost a tažnost, dále konstrukční parametry plošných textilií a jejich vlastnosti povrchu, které mají vliv na emisivitu a přenos tepla zářením. Z pohledu vzniku tepla v plošných textiliích je teoreticky popsáno tření plošných textilií, jenž je aktivátorem tepelného záření. Jelikož je možné toto tepelné záření zachytit pomocí infračervené kamery, tzv. termovize, bude nutné také pochopit a teoreticky popsat základní princip termografie a s ním související zákony vyzařování. Bude zdůrazněn vliv emisivity na celkový výsledek velikosti teploty.

Naměřená data jsou vyhodnocena a zpracována pomocí softwaru ThermaCAMTM Researcher Professional 2.8 a tabulkového procesoru Excel a to především kvalitativní srovnávací termografickou metodou. Metodou kvantitativní jsou pak data ze softwaru ThermaCAMTM Researcher Professional 2.8 převedena mechanicky do tabulkového procesoru Excel.

Klíčová slova: pevnost a tažnost, teplo a tepelné záření, termografie, termovize S60, ThermaCAMTM Researcher Professional 2.8.

Abstract

This Graduation Theses focuses on a study of a rising process during tearing across of areal textiles together with help of thermovision camera. My Graduation Theses focuses on a study of a rising process during tearing across of areal textiles with help of thermovision camera.

To gain success in this experiment, It is necessary to accomplish a theoretical analysis of mechanical feature of linear and areal textiles in a background research at first, especially their firmness and tensibility, then to accomplish constructional characteristics of areal textiles and their surface qualities, as they have an influence on emissivity and heat transfer by radiance.

Attrition of areal textiles, that is an activator of thermal radiation, is theoretically described with the point of view of heat inception. As it is possible to represent this thermal radiation through the use of infrared camera – so called thermovision, it will also be necessary to understand and theoretically describe the basic principle of heat coping and its relating principles of radiation.

The emissivity influence on the general result of thermal magnitude will be emphasized.

Measuring data are evaluated and processed by the help of software ThermaCAMTM Researcher Professional 2.8 and spreadsheet processor Excel firstly by qualitative and comparative thermal method. Data from the software ThermaCAMTM Researcher Professional 2.8. are then converted to the spreadsheet processor Excel by quantitative method.

Key words: firmness and tensibility, heat and thermal radiation, heat coping, thermovision S60, ThermaCAMTM Researcher Professional 2.8.

Motto:“ Jeden obraz , tisíce slov“

(Staré čínské přísloví)

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A JEJICH JEDNOTEK	8
1. ÚVOD	9
2. ŘEŠERŠNÍ ČÁST PRÁCE	11
2.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI PEVNÝCH LÁTEK	11
2.1.2 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	11
2.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI VLÁKEN	14
2.2.1 PEVNOST A TAŽNOST VLÁKEN	14
2.2.1.1 Rozdělení vláken podle tahových křivek	15
2.2.1.1 Rozdělení vláken podle tahových křivek	16
2.3 MECHANICKÉ VLASTNOSTI PŘÍZÍ A NITÍ	18
2.3.1 PEVNOST A TAŽNOST PŘÍZÍ A NITÍ	18
2.3.1.1 Závislost mezi pevností, zákrutem a jemností příze	19
2.3.2 ZJIŠŤOVÁNÍ PEVNOSTI A TAŽNOSTI PŘÍZÍ A NITÍ	21
2.4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI PLOŠNÝCH TEXTILÍ	23
2.4.1 PEVNOST V TAHU A TAŽNOST PLOŠNÝCH TEXTILÍ	24
2.4.2 HODNOCENÍ PEVNOSTI A TAŽNOSTI PLOŠNÝCH TEXTILÍ V TAHU DLE NORMY	25
2.4.2.1 Předpětí	26
2.4.3 PEVNOST TKANIN A PLETENIN	27
2.5 VYBRANÉ KONSTRUKČNÍ PARAMETRY PLOŠNÝCH TEXTILÍ	28
2.5.1 VAZBY TKANIN	30
2.5.1.1 Základní vazby tkanin	30
2.5.2 VAZBY PLETENIN	31
2.6 VYBRANÉ VLASTNOSTI POVRCHU PLOŠNÉ TEXTILIE	32
2.7 TŘENÍ PLOŠNÝCH TEXTILÍ	34
2.7.1. TŘENÍ OPÁSÁNÍM	34
2.7.1.1 Součinitel tření a jeho měření	35
2.7.3 STATICKÉ A KINETICKÉ TŘENÍ	36
2.7.4 VNITŘNÍ TŘENÍ PLOŠNÝCH TEXTILÍ A PŘEMĚNA ENERGIE	36
2.8 TEPLA	37
2.8.1 NAUKA O SDÍLENÍ TEPLA	37
2.8.2 ROZDĚLENÍ SDÍLENÍ TEPLA	38
2.8.2.1 Sdílení tepla vedením	38
2.8.2.1.1 Součinitel tepelné vodivosti a tepelný odpor	39
2.8.2.2 Sdílení tepla prouděním	40
2.8.2.3 Sdílení tepla zářením	42
2.8.2.3.1 Záření reálných těles	43
2.8.2.3.2 Záření absolutně černého tělesa	44
2.9 ZÁKLADNÍ ZÁKONY VYZAŘOVÁNÍ	45
2.9.1 EMISIVITA	47
2.9.1.1 Emisivita textilií	48
2.10 TEPLOTA A JEJÍ MĚŘENÍ	50
2.10.1 MĚŘENÍ TEPLoty	50
2.10.1.1 Kontaktní měření teploty	50
2.10.1.2 Bezkontaktní měření teploty	51

2.11 TEORIE TERMOGRAFIE	52
2.11.1 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ.....	52
2.11.2 ZÁKLADNÍ PRINCIP TERMOGRAFIE	53
2.12 INFRAČERVENÁ TERMOGRAFIE	54
2.12.1 ROZDĚLENÍ TERMOGRAFIE.....	55
2.12.1.1 Pasivní termografie	55
2.12.1.2 Aktivní termografie.....	55
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	56
3.1 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ.....	57
3.1.1 ROZBOR MĚŘENÝCH MATERIÁLŮ	58
3.2 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A JEJICH SPECIFIKACE.....	61
3.2.1 PŘÍSTROJ NA MĚŘENÍ PEVNOSTI A TAŽNOSTI.....	61
3.2.1.1 Trhací přístroj Labtest 2.05 a jeho popis	61
3.2.1.2 Program Labtest.....	62
3.2.2 PŘÍSTROJ NA BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ POVRCHOVÉ TEPLoty	63
3.2.2.1 Infračervená kamera ThermoCAM S60.....	63
3.2.2.1 Technické parametry infračervené kamery ThermoCAM TM S60	65
3.2.2.2 ThermoCAM TM Researcher Professional 2.8	66
3.2.3 PŘÍSTROJ NA URČENÍ STRUKTURY POVRCHU MATERIÁLU	67
3.2.3.1 Makroskop se SW Lucia G 4.82	67
3.3 STANOVENÍ POSTUPU MĚŘENÍ.....	68
3.4 POSTUP MĚŘENÍ	70
3.5 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT POMOCÍ THERMACAMTM	73
3.6 KVALITATIVNÍ VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT SROVNÁNÍM	74
3.6.1 ULESTER 32S O PLOŠNÉ HMOTNOSTI 22G/M ²	75
3.6.2 POROVNÁNÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	80
3.6.2.1 Počáteční destrukce měřených tkanin podél osnovy.....	80
3.6.2.1 Maximální teplota měřených tkanin	81
3.7 KVANTITATIVNÍ VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	83
3.8 DISKUSE VÝSLEDKŮ	88
3.9 ZÁVĚR	95
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	98
SEZNAM PŘÍLOH.....	100

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A JEJICH JEDNOTEK¹

A	- deformační práce [J]
b	- Wienová konstanta, $b = (2,897756 \pm 0,000024) \cdot 10^{-3}$ [m.K]
c	- rychlost šíření elektromagnetického záření v daném prostředí, [m.s ⁻¹]
c	- rychlost světla, $c = 2,997930 \pm 0,000003 \cdot 10^8$, [m.s ⁻¹]
c ₀	- rychlost světla ve vakuu, $c_0 = 299792458$, přesná hodnota, [m.s ⁻¹]
c ₁ , c ₂	- konstanty
c ₂	- druhá Planckova radiační konstanta
Do, Du	- dostava osnovních a útkových nití, [m ⁻¹]
E	- modul pružnosti [Pa]
F	- síla, [N]
F _N	- pevnost nitě, [m.kg.s ⁻²]
F _p	- pevnost plošných textilií, [N]
grad T	- gradient teploty
Hř,s	- hustota řádků a sloupků [m ⁻¹]
h	- tloušťka textilie, [m]
h	- Planckova konstanta, $h = (6,6260755 \pm 0,000004) \cdot 10^{-34}$ [J.K ⁻¹]
M	- intenzita tepelného záření [W.m ⁻²]
k	- Boltzmanova konstanta, $k = (1,380658 \pm 0,000012) \cdot 10^{-23}$ [W.s.K ⁻¹]
M	- intenzita vyzařování, [W.m ⁻²]
M ₀	- intenzita vyzařování černého tělesa, [W.m ⁻²]
R	- odpor [Ω]
S	- ozářená plocha [m ²]
S	- plocha povrchu zdroje záření [m ²]
T	- termodynamická teplota [K]
α	- součinitel přestupu tepla [W.m ⁻² .K ⁻¹]
α	- teplotní součinitel délkové roztažnosti [K ⁻¹]
α	- pohltivost [1]
β	- teplotní součinitel objemové roztažnosti [K ⁻¹]
ε	- emisivita [1]
ε	- spektrální emisivita [1]
ε(λ,Θ,T)	- emitovaný tok [1]
λ	- vlnová délka [m]
λ	- součinitel tepelné vodivosti tělesa nebo prostředí [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
λ _{max}	- maximální vlnová délka [m]
ρ	- hustota [kg.m ⁻³]
ρ _s	- objemová hmotnost suché textilie [kg.m ⁻³]
σ	- Stefan-Boltzmannova konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W.m ⁻² K ⁻⁴
σ	- normálové napětí [Pa]
τ	- propustnost [1]
Φ	- tepelný tok [W]

¹ Ostatní veličiny a jednotky jsou uvedeny a vysvětleny v následujícím textu

1. ÚVOD

Plošné textilie mají dlouholetou tradici. Jenom jejich historie se odhaduje cca na 25 000 let. V prvopočátku z konečných rostlinných či zvířecích vláken byla vytvořena spřádáním vlákna nekonečná a z nich utkány tkaniny bez použití vnějšího spojovacího prostředku. Celá tkanina pak držela a také i dnes převážně drží pohromadě třecími silami.

Dnes již máme jiné možnosti výroby plošných textilií. Technický pokrok si především vyžádal výrobu technických tkanin, uplatňující se téměř ve všech nejen technických oborech, ale také v lékařství, biologii a dalších. Vývoj si vyžádal výrobu vláken nejen z přírodních polymerů, ale také a dnes především ze syntetických polymerů, jako je například výroba vláken polyesterových, či polyamidových.

Stále však platí, že vyrobená textilie je převážně držena pohromadě třecími silami vyskytujícími se ve vazbách plošných textilií, při kontaktu povrchů vláken, přízí, mezi vazebnými body a dalšími povrchy. Při namáhání takového útvaru se uplatňuje kinetické tření, mechanická práce vykonaná soustavou se přeměňuje na tepelnou energii, která se dále šíří v textilií v závislosti na hustotě vlákenných kontaktů a typu materiálu, ze kterého je textilie vyrobena.

Jelikož zákon zachování energie říká, že energii nelze vyrobit ani zničit, ale pouze přeměnit na jiný druh energie, pak platí, že tepelná energie se dále mění v energii zářivou. U textilií se pohybuje především v oblasti infračervené, které je pro lidské oko neviditelné. Za pomoci dnešní techniky, jako je právě termovize, můžeme tuto energii sledovat a studovat.

Smyslem řešení úloh vedení tepla je vyřešit kompletní teplotní pole, tj. rozložení izoterem a po té z nich určovat například polohy s extrémními teplotními gradienty. Vyřešení teplotních polí spočívá také v řešení teplotního napětí, související s namáháním daného materiálu. Řešení teplotních polí nám pomůže určit, jak rychle se výrobek zahřívá v různých částech měřeného objektu. Ne všude dochází k ohřevu stejně rychle.

Nejdříve je však potřeba znát průběh namáhání plošné textilie před přetrhem a také pochopit samotný přetrh. Jaké vlastnosti pevných látek se projevují vlivem

působení vnějších sil nám pomohou pochopit mechanické vlastnosti textilií, které budou popsány v rešeršní části. Jejich charakteristika, nám pomůže pochopit nejen disipaci mechanické energie v energii tepelnou, vznikající teplotní napětí, ale také teplotní rozložení v plošné textilií při jejím tahovém namáhání a přetrhu.

Pro pochopení principu termografie budou uvedeny základní informace o sdílení tepla vedením, prouděním a zářením, záření černého tělesa a reálného tělesa, základní zákony vyzařování a další informace, které nám pomohou vyhodnotit naměřená data v experimentální části.

2. ŘEŠERŠNÍ ČÁST PRÁCE

2.1 Mechanické vlastnosti pevných látek

Mechanické vlastnosti pevných látek (těles) jsou vlastnosti, které se projevují vlivem působení vnějších sil. Mechanickým namáháním tělesa pak nazýváme takový děj, při kterém dochází k interakci mezi působícími mechanickými silami a tělesem. Výsledkem tohoto děje jsou dočasné nebo trvalé změny tvaru tělesa, tzv. *deformace*. Při mechanickém namáhání těleso reaguje na základě vazeb mezi chemickými složkami látky, anatomické stavby a také geometrii tělesa. Proto je nutné každou mechanickou vlastnost těles i z těchto hledisek posuzovat, jak kvalitativně, tak kvantitativně.

2.1.2 Základní charakteristiky mechanických vlastností

Za základní charakteristiky kvantitativně popisující mechanické vlastnosti látek se považují napětí, deformace, modul pružnosti a poddajnost.

Napětí σ

Napětí definujeme jako velikost vnitřní síly, která je vztažena na jednotku plochy tělesa. Jestliže síly působí kolmo na průřezovou plochu tělesa, jedná se o normálové napětí. Příkladem normálových napětí je napětí v tahu a tlaku. Působí-li síly v rovině průřezu, vzniká tangenciální (smykové) napětí. Příkladem tangenciálního napětí je napětí ve smyku. Kombinaci normálového a tangenciálního napětí představuje ohyb. Speciálním případem ohybového momentu je napětí v krutu.

Jestliže je rozložení síly F [N] v ploše namáhaného průřezu S [m²] rovnoměrné, pak lze napětí σ matematicky vyjádřit vztahem:

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ [Pa]} \quad (2.1.1)$$

Deformace ε

Napětí v pevných látkách vyvolávají změny jejich tvaru, tzv. deformace, které se popisují relativní změnou:

- *délky ve směru působící síly, tzv. podélné deformace,*
- *šířky ve směru kolmém k působící síle, tzv. příčné deformace,*
- *úhlů pravoúhlého obrazce, tzv. deformace ve smyku.*

Závislost napětí (vyvolávající deformaci) na relativní deformaci jsou graficky popsány deformačním neboli trhacími diagramem, který označujeme také jako pracovní diagram. Z tohoto digramu číselně vyjadřujeme mimo jiné pevnost a tažnost materiálu.

Pevností materiálu rozumíme odpor anebo odolnost materiálu proti jeho trvalému porušení. Kvantitativně pevnost definujeme jako mezní napětí, které způsobí rozdělení (přetrh) materiálu.

Tažnost je pak definována jako největší protažení, kterého je dosaženo při přetrhu materiálu. Označujeme jí také jako relativní deformaci ε do přetrhu, kterou vyjadřujeme v procentech [%] a pomocí matematického vztahu jí definujeme následovně: $\varepsilon = (l - l_0) / l_0 \times 10^2$, kde l je délka materiálu po deformaci a l_0 je jeho původní délka.

Deformace a teplotní roztažnost pevných látek

Při deformaci pevných těles dochází ke změně jejich rozměru a zároveň ke změně jejich teploty. Tento fyzikální jev nazýváme teplotní roztažnost, kterou rozlišujeme podle toho jakým způsobem jí zkoumáme, na:

A. *Teplotní délkovou roztažnost*

B. *Teplotní objemovou roztažnost*

A. Teplotní délková roztažnost

U teplotní délkové roztažnosti zkoumáme změnu jednoho rozměru s teplotou. Přírůstkem teploty $\Delta T = T - T_1$ odpovídá prodloužení $\Delta l = l - l_1$. Z dosud provedených měření vyplývá, že prodloužení je přímo úměrné počáteční délce tělesa (štíhlého útvaru) a přírůstkem její teploty. Matematicky tento experimentální poznatek vyjadřujeme vztahem, [12]:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_1 \Delta T \quad (2.1.2)$$

Kde značí: α teplotní součinitel délkové roztažnosti [K^{-1}]
 l_1 počáteční délku [m]
 l délku po prodloužení [m]

B. Teplotní objemová roztažnost

U teplotní objemové roztažnosti zkoumáme závislost objemu pevného tělesa na teplotě. Pro objemovou teplotní roztažnost z měření vyplývá, že při změně teploty z T_1 na T se změní objem V_1 na takovou hodnotu V , pro kterou platí vztah, [12]:

$$V = V_1[1 + \beta(T - T_1)] \quad (2.1.3)$$

Kde značí: β teplotní součinitel objemové roztažnosti [K^{-1}], který závisí na druhu látky, z níž je pevné těleso a pro izotropní tělesa platí, že jeho velikost je $\beta \cong 3 \cdot \alpha$, [12].

Modul pružnosti E

Pružnost materiálu je všeobecně definována jako jeho schopnost dosahovat původní tvar a rozměry po uvolnění vnějších sil. Moduly pružnosti vyjadřují vnitřní odpor materiálu proti pružné deformaci. Čím je modul pružnosti větší, tím větší napětí je potřebné na vyvolání deformací. Rozlišujeme moduly pružnosti při normálových namáháních – tah, tlak, ohyb a při namáháních tangenciálních - smyk a krut. Modul pružnosti v tahu a tlaku charakterizujeme jako podíl mezi napětím a poměrnou deformací:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ [Pa]} \quad (2.1.4)$$

V ohybu se udává modul pružnosti kolmo na vlákna a zkouší se prakticky jen v tangenciálním směru. Deformace při ohybu je definována jako poměr vzniklého průhybu nosníku a poloměru ohybu.

Poddajnost

Je inverzní veličinou k modulu pružnosti. Charakterizuje schopnost materiálu deformovat se za daných podmínek a je definována jako poměr vzniklé deformace a aplikovaného napětí, tj. ε/σ , [12].

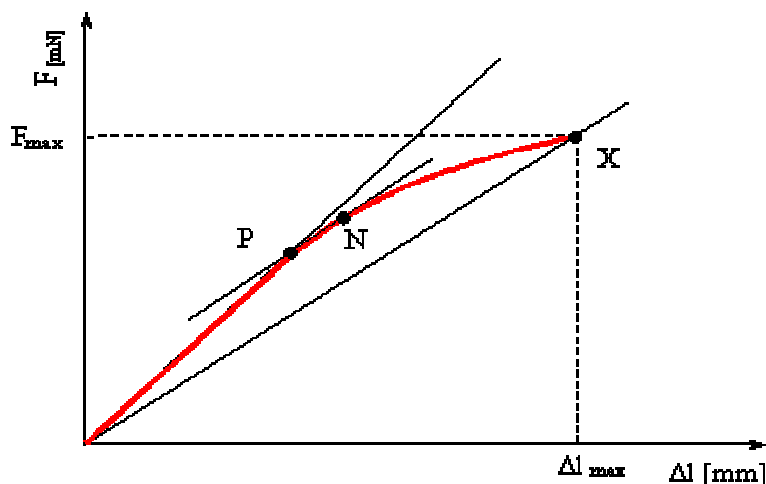
2.2 Mechanické vlastnosti vláken

Vlákno je základní stavební jednotka všech textilií a všechny jeho vlastnosti závisí na chemické a především na jeho fyzikální struktuře, teplotě, vlhkosti, způsobu a rychlosti namáhání. Mechanické vlastnosti vláken také souvisí s vlastnostmi vláken, optickými, termickými, elektrickými jako i vzájemně mezi sebou, [20].

2.2.1 Pevnost a tažnost vláken

Pevnost a tažnost vláken jsou nejčastějšími používanými hodnotami charakterizujícími mechanické vlastnosti vláken při jejich tahovém namáhání. Významný vliv na jejich chování nejen při namáhání tahem má jejich molekulární a morfologická struktura. U přírodních vláken jsou možnosti vlivu na změnu struktury omezené. U všech vláken chemických (zejména syntetických) lze strukturu vláken do jisté míry měnit a tím ovlivnit i jejich vlastnosti, [9].

Údaje o chování vlákna při jeho postupném zatěžování tahem, kdy dochází k jeho deformaci - protažení, lze nejlépe znázornit graficky pracovním diagramem zatížení (viz obr.). Na uvedeném obrázku je znázorněno jak roste protažení vláken až do okamžiku protržení v závislosti na zvyšujícím se napětím. Bod X označuje maximální zatížení, které vlákno sneslo a jeho příslušnou tažnost. Bod P určuje mez pružnosti a bod N mez kluzu.



Obr. 1 Závislost deformace vlákna na napětí (P - mez pružnosti, N - mez kluzu) dle [20].

Pevnost vláken

Pevnost vláken je významná jak pro vlastní zpracování, tak i pro výslednou jakost přízí a výrobků. U vláken rozeznáváme pevnost v tahu a ve smyčce. Pevnost v tahu vyjadřuje skutečnou pevnost vláken v podélném namáhání, kdežto pevnost ve smyčce vyjadřuje křehkost (nebo také pružnost) vláken, tj. sklon vláken k lámání, [9].

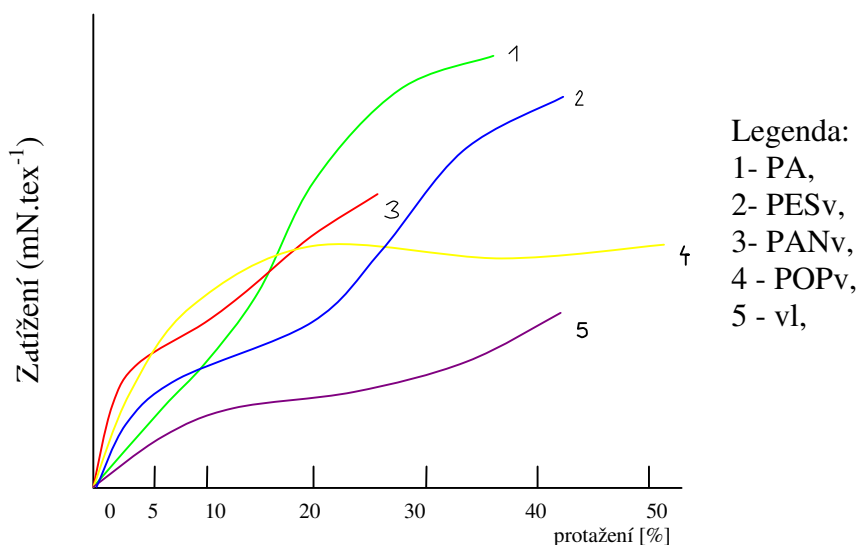
Hodnoty pevnosti vláken v tahu z důvodu jejich proměnlivého průměru d se vyjadřují **poměrnou pevností** f_M . Jde o absolutní pevnost F_M vztaženou na jednotku jemnosti T , definovanou vztahem:

$$f_M = \frac{F_M}{T} \text{ [mN.tex}^{-1}\text{]} \quad (2.2.1)$$

Tažnost vláken

U vláken hodnotíme hlavně jejich tažnost, vyjadřovanou v procentech. Hodnota uvádí, o kolik se vlákno protáhne od okamžiku zatěžování až do okamžiku přetrhu. Z hodnot odečtených na ose absolutního prodloužení Δl (viz obr.) se určuje **poměrné prodloužení** – tažnost, definované jako $\varepsilon = (l - l_0)/l_0 \times 10^2$. Kde l_0 je upínací délka trhacího stroje v [mm] a zároveň počáteční délka vlákna před jeho deformací a l je maximální protažení vlákna v [mm].

Tažnost je u jednotlivých druhů textilních vláken různá a příznivě působí při zpracování vláken do přízí, tak i při zpracování přízí do výrobků. Dovoluje vláknům určité zatížení, aniž by došlo k jejich přetržení. Údaje o chování vláken a přízí ukazuje pracovní diagram zatížení (viz obr.2), [9].

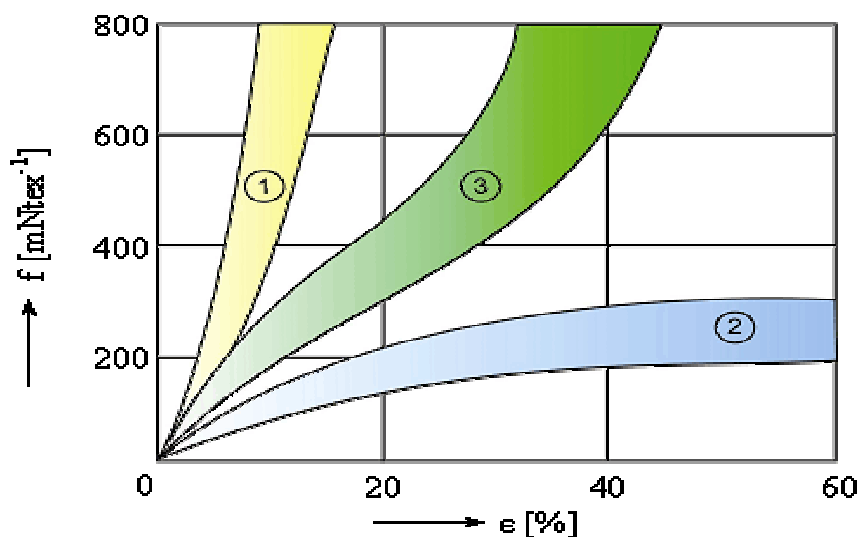


Obr.2 Pracovní křivky vybraných druhů vláken dle [9]

2.2.1.1 Rozdělení vláken podle tahových křivek

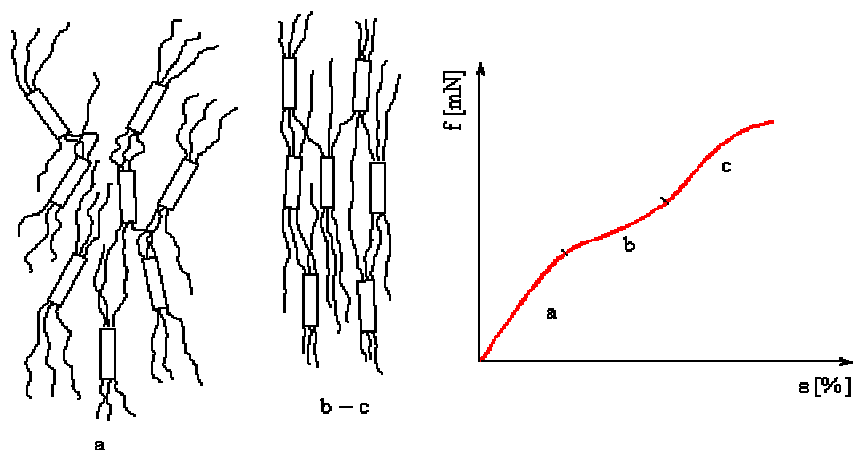
Podle jeho tahových křivek je možné vlákna rozdělit do tří skupin, a to podle toho v které zóně tahové křivky (viz obr.5) se vlákno při jeho zatížení tahem nachází. Typ jednotlivých křivek je dán jemnou strukturou vlákna, která je namáhána ve směru osy vlákna, tedy převážně ve směru orientace krystalitů a makromolekul.

1. Vlákná s vysokým stupněm orientace a krystalinity – pás 1.
2. Vlákná s nízkým stupněm uspořádanosti a vysokou tažností – pás 2.
3. Vlákná u kterých během jejich namáhání tahem dochází k dotvoření struktury a zvýšení pevnosti – pás 3.



Obr. 3 Základní typy tahových křivek textilních vláken, dle [20]

Do první skupiny vláken, vykazující především lineární chování a nacházející se v pásu "1" (viz obr.3), patří bavlna, lýkové celulosy, vlákna kovové, uhlíkové a skleněné. Do druhé skupiny vláken, nacházející se v pásu "2" patří vlna, přírodní hedvábní, acetát a polyakrylonitril. Do poslední skupiny, v pásu "3" můžeme pak zařadit polyamid a polyester, [20].



Obr. 4 Průběh namáhání textilního vlákna v tahu [20].

Pás "3" v kterém dochází k dotvoření struktury a zvýšení pevnosti vláken při jejich tahovém namáhání je možné jej rozdělit na následující tři fáze:

1. *První fáze namáhání* – úsek "a".
2. *Druhá fáze namáhání* – úsek "b".
3. *Třetí fáze namáhání* – úsek "c".

V *první fázi* namáhání tahem (obr. 4 úsek "a") vykazují vlákna pevnost svých vazeb v amorfní (neuspořádané) oblasti - dochází k rozrušování a napřimování amorfních segmentů. Tím dochází k uvolňování struktury a ve *fázi druhé*, v úseku "b" (obr. 4), pak k dalšímu napřimování segmentů makromolekul, respektive dochází k jejich prokluzu ve směru tahové síly. V důsledku toho se struktura zpevňuje novými vazbami na základě těsnějšího seskupení, což má za následek v *poslední fázi*, zvýšení konečné pevnosti vlákna (úsek "c" na obr. 4), [20].

Při tahovém namáhání vlákna také dochází mimo jiné také k uvolňování tepla, ke vzniku elektrostatického náboje a ke změně termických a mechanických vlastností.

2.3 Mechanické vlastnosti přízí a nití

Příze je délková textilie složená se spřadatelných vláken zpevněná zákrutem nebo pojením tak, že při přetrhu příze dochází i k přetrhu jednotlivých vláken. Příze patří mezi významné poloproducty textilní výroby. Díky osobitým zvláštnostem své struktury a z ní plynoucích vlastností je úspěšně využívána ve výrobě tkanin, pletenin a pletenotkaných textilií, stužek, prýmků, provazových výrobků atd., [9].

2.3.1 Pevnost a tažnost přízí a nití

Mezi mechanické vlastnosti přízí a nití zahrnujeme jejich veškeré chování při působení vnějších sil. Podle jejich typu to je především namáhání v tahu, v ohybu, v krutu, ve smyčce, v rázu atd. Mechanické vlastnosti jsou zejména určovány vlastnostmi vláken, jejich vzájemnou interakcí, třecími silami mezi nimi, tvarem profilu, velikostí stykových ploch, jejich sklonem vůči ose nitě – tedy konstrukčními prvky, [11].

Při odvozování deformačních vlastností nití vyrobených z dlouhých vláken vycházíme z tvaru ideální nitě o vnějším poloměru R , ve kterém jsou dlouhá vlákna uložena pod úhlem θ a na vnitřním poloměru r je uloženo vlákno rozvinuté délky l . Platí, že relativní prodloužení vlákna ε_v je přímo úměrné relativnímu prodloužení nitě ε_N :

$$\varepsilon_v = \varepsilon_N \cos^2 \theta \quad [\%] \quad (2.3.1)$$

Z výše uvedeného vztahu vyplývá vliv sklonu vlákna a jeho deformace. Při $\theta = 0$ je $\cos \theta = 1$, což znamená, že relativní prodloužení příze je shodné s relativním prodloužení vlákna a naopak.

Příze vyrobené z krátkých vláken nemají tak jednoduchou definici deformace. Pro stanovení jejich deformace je možné použít Hearlův vztah, který uvádí Staněk v [11, str.49] a který vychází ze základní geometrie příze.

$$\varepsilon_v = \varepsilon_p \left[\frac{c^2}{u^2} - \mu_p \left(1 - \frac{c^2}{u^2} \right) \right] \quad [\%] \quad (2.3.2)$$

kde ε_v je deformace vlákna, ε_p je deformace příze, $c = \cos \alpha = h/l$; $u = l/L$, μ_p je poissonův poměr příze σ_{ax}/σ_{rad} , který udává poměr vnitřních napětí, L je obvodová délka vláken a l je vnitřní délka vláken. Z uvedeného vztahu vyplývá, že příze se deformují v mnoha směrech a to:

1. vlákna ve směru osy příze, ve směru namáhání,
2. vlákna migrují v přízi při namáhání v tahu a prokluzují jejich konce,
3. příze se deformuje v radiálním směru, zmenšuje se koeficient zaplnění.

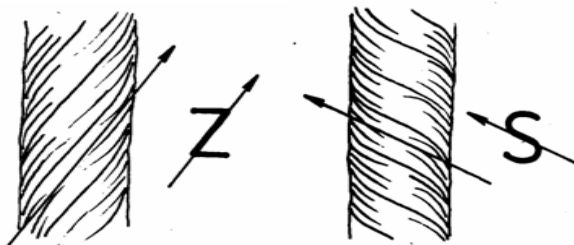
2.3.1.1 Závislost mezi pevností, zákrutem a jemností příze

Zákrut příze Z

Zákrut příze Z je definován vztahem (2.3.3) jako počet otáček vložených do jednotkové příze. Zákrutem se rozumí zakroucení vláken ve směru šroubovice okolo osy příze. Rozlišujeme několik typů zákrutů, a to zákrut trvalý a zákrut nepravý a dále zákrut pravý a levý (viz obr.5).

$$Z = \frac{n}{v} \quad (2.3.3)$$

kde Z je počet zákrutů na jednotku délky [m^{-1}], n je frekvence otáčení krutného orgánu [min^{-1}] a v je rychlost dodávky podávacího ústrojí [$m.min^{-1}$].



Obr. 5 Směr zákrutu S – levý zákrut, Z – pravý zákrut [14]

Intenzitu zákrutu lze vyjádřit pomocí jemnosti přízi, a to za použití tzv. koeficientu zákrutu α , který je nejčastěji definován podle Koechlingovy hypotézy, [9]. Vztah pro výpočet intenzity zákrutu pak je vyjádřen jako:

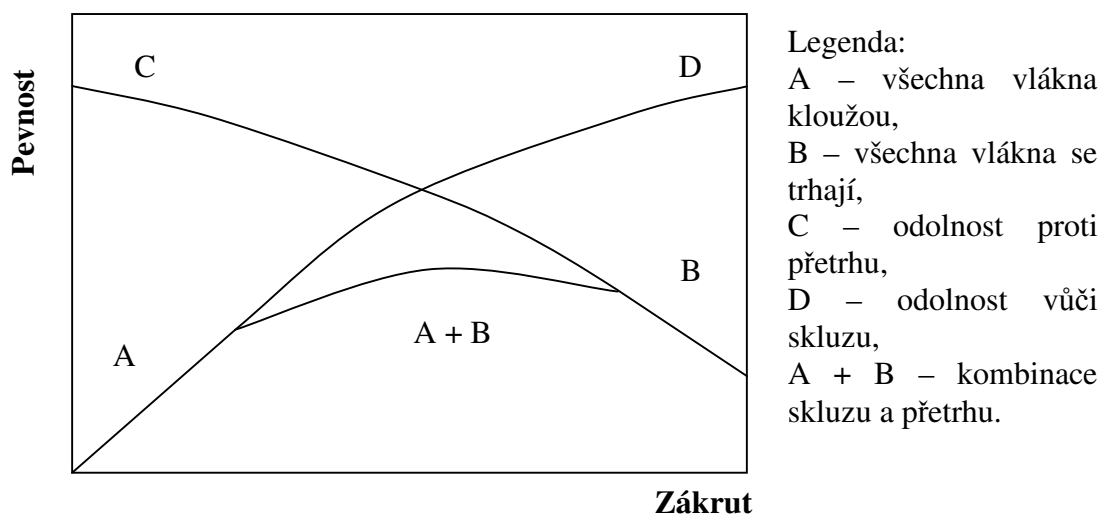
$$Z = \frac{\alpha \cdot 31,6}{\sqrt{T}} \quad (2.3.4)$$

kde Z je zákrut příze m^{-1} , α je Koechlingův zákrutový koeficient [$ktex^{1/2} \cdot m^{-1}$] a T je jemnost příze [tex].

Jemnost příze T

Jemnost příze T nebo-li délková hmotnost příze se vyjadřuje se vztahem mezi hmotností příze m [g] a její délkou l [km]: Základní jednotkou jemnosti je 1 tex ($\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$). Vztah je vyjádřen následovně:

$$T = \frac{m}{l} = \frac{m}{l} \quad (2.3.5)$$



Obr. 6 Schématické zobrazení závislosti mezi pevností a zákrutem při přetrhu příze, dle [25]

Závislost mezi pevností, zákrutem a jemností příze (délkovou hmotností) je možné popsat pomocí schéma, uvedené na obrázku č.6. Z tohoto schématického zobrazení závislostí mezi zákrutem a pevností příze je zřejmé, že se stoupajícím zákrutem vstupuje více vláken do přímého přetrhu a roste odolnost proti skluzu. Naopak při poklesu zákrutu, klesá i pevnost příze. Při nulovém zákrutu je pevnost příze nulová a uplatňuje se pouze skluz vláken, tedy vzájemná soudružnost mezi vlákny, která jsou prakticky v paralelním stavu. Z uvedeného vyplývá, že závislost mezi zákrutem a délkovou hmotností daná koeficientem zákrutů α je velmi důležitá, neboť určuje optimální pevnost a tažnost délkové textilie, [11]. Se stoupajícím úhlem (se stoupajícím zákrutem) α roste pevnost a tažnost příze až do určité meze, pak se pevnost a tažnost snižuje.

2.3.2 Zjišťování pevnosti a tažnosti přízí a nití

Během mechanického namáhání dochází v niti ke změně délky, tzv. *deformaci*, která je závislá na velikosti zatížení, rychlosti namáhání a době trvání.

Rychlost zatěžování má na výsledky měření pevnosti v tahu a tažnosti zásadní vliv. Čím rychleji budeme nit zatěžovat, tím méně času bude mít na přeskupení vnitřních sil tvořených např. třením mezi vlákny. S rostoucí rychlostí zatěžování roste úroveň pevnosti a klesá tažnost. Standardní rychlost zatěžování je normována v době trvání zkoušky řádově desítek sekund, [5].

Podle způsobu nebo typů namáhání provádíme zjišťování mechanických vlastností přízí a nití ve čtyřech skupinách, z kterých si blíže popíšeme první dvě, [11]:

1. *Pevnost v tahu a tažnost statická*
2. *Pevnost v tahu a tažnost dynamická*
3. *Pružnost*
4. *Pevnost v rázu*

1. Pevnost v tahu a tažnost statická

Pevnost v tahu a tažnost statická patří mezi základní popisné charakteristiky, jež jsou zjišťovány namáháním v tahu upnutím definovaného úseku nitě. Způsoby namáhání nití jsou realizovány zpravidla dvojím způsobem:

- *jednorázovým způsobem namáhání* - zjišťuje charakteristiky při namáhání s konstantním přírůstkem deformace $d\varepsilon / dt = konst.$ nebo síly $dF / dt = konst.$ až do meze její pevnosti
- *opakovaným způsobem namáhání* – jde o cyklické namáhání, kdy zjišťujeme deformační charakteristiky, jejich zotavovací schopnosti.

Základní zjišťovanou charakteristikou je absolutní pevnost v tahu F , která se zaznamená po přetržení nitě. Pro porovnání nití různých délkových hmotností se zavádí měrná (poměrná) pevnost, která je dána vztahem:

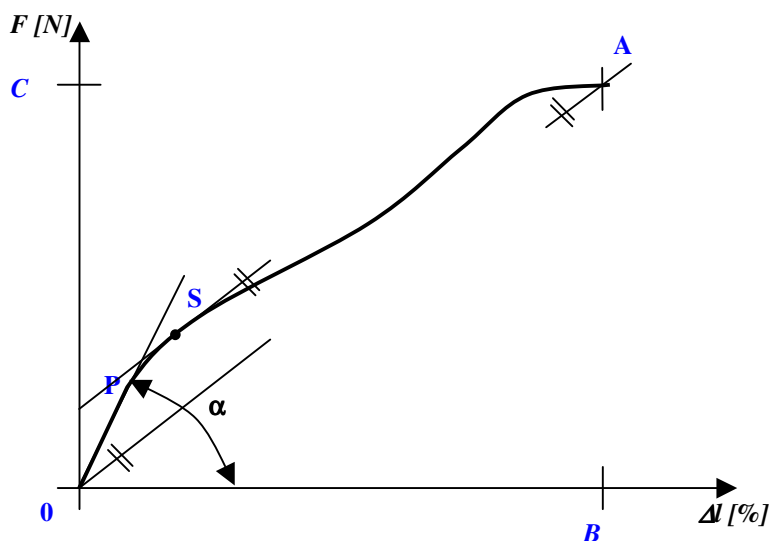
$$f = \frac{F}{T} \left[N \cdot tex^{-1} \right] \quad (2.3.6)$$

kde F je absolutní pevnost [N] a T je délková hmotnost nitě [tex].

2. Pevnost v tahu a tažnost dynamická

V procesu zpracování nití v plošnou textilií dochází k jejím deformacím a k zanesení vnitřních sil (předpětí). Je tedy zapotřebí zjistit, jaké deformace a síly v niti vznikají, pokud je nit namáhána dynamicky. Pro tyto účely slouží přístroje, které kontinuálně převíjí nit přes soustavu kladek s různými rychlostmi a tenzometrickými sondami je snímána hodnota vyvozené síly, [11].

Průběh tahového namáhání nám dostatečně popisuje tahový diagram na obrázku č.7, z kterého jsou patrné elastické, viskoelastické a plastické deformace. U elastické nebo-li pružné deformace v přízi nedochází k prokluzu vláken. Jde o stav kdy nit po namáhání v tahu je ještě schopna se vrátit do původního stavu. Vlákná v přízi jsou tedy namáhány pouze do meze pružnosti P . Po překročení meze pružnosti nastávají viskoelastické změny ve vláknech, jako je přeskupování některých vazeb a změny v konformaci molekul. Plocha pod křivkou je definována jako deformační práce, nebo-li mezní práce do přetrhu, kterou také označujeme jako energii, kterou je potřeba vynaložit, aby síla F v závislosti na protažení (deformaci) způsobila destrukci vzorku, [5].



Obr. 7 Deformační křivka

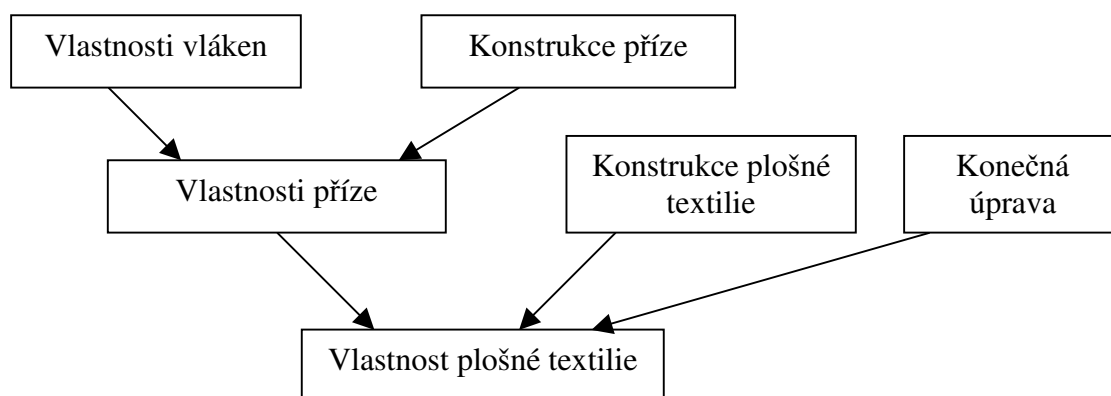
2.4 Mechanické vlastnosti plošných textilií

Plošná textilie je v zásadě plošným útvarem, jelikož její šířka a délka o 3 řády převyšuje její tloušťku. Konstrukce plošné textilie je různá podle toho, jaké technologie bylo při výrobě použito. Podle toho plošné textilie rozdělujeme na tkaniny, pleteniny, pletenotkaniny, netkané textilie a textilie vrstvené. Z těchto typů budeme dále definovat blíže pouze tkaniny a pleteniny, [9].

Tkanina je plošná nebo prostorová textilie vytvořená zpravidla ze dvou vzájemně kolmých soustav nití, vzájemně provázaných vazbou tkaniny. Podélná soustava nití se nazývá osnova a příčná útek.

Pletenina je plošná textilie většinou vznikající z jedné soustavy nití, buď to vytvářením (osnovní pletenina) nebo proplétáním oček (zátažná pletenina).

Na mechanických vlastnostech plošných textilií (viz obr.8) se významně podílejí vlastnosti příze, ovlivněné vlastnostmi vláken a konstrukcí příze, dále konstrukce plošné textilie a v neposlední řadě konečná úprava textilie, jako je například barvení a avivování. Konečná úprava může být mokrá nebo suchá a dodává textiliím jejich konečné vlastnosti. Zejména mokré úpravy ovlivňují dodatečně strukturu vlákna a jeho povrchový reliéf a to tak, že dochází ke změně jeho základních vlastností.



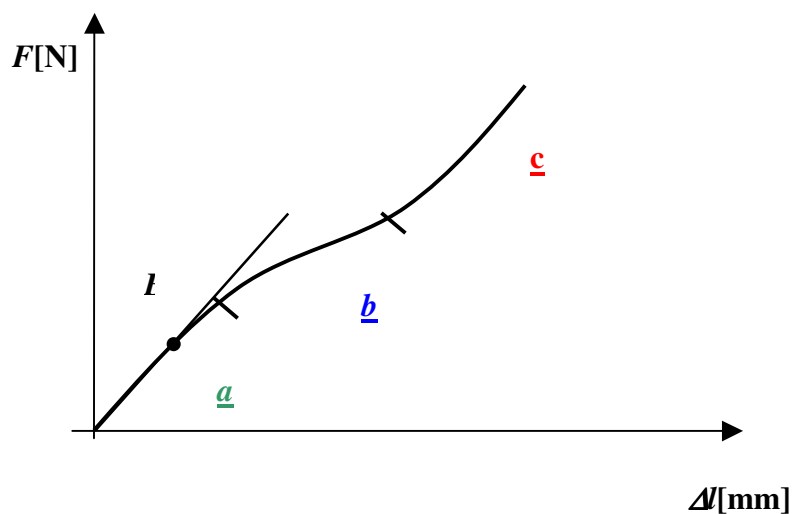
Obr.8 Schéma vstupů, ovlivňujících výslednou vlastnost plošné textilie, dle [11].

2.4.1 Pevnost v tahu a tažnost plošných textilií

Pevnost v tahu a tažnost plošných textilií patří mezi základní charakteristiky mechanických vlastností. Diagnostiku nejdůležitějších mechanických vlastností plošných textilií, jako je pevnost a tažnost, případně určení modulu pružnosti, provádíme dnes již na většinou počítačem řízených zkušebních a měřicích zařízeních, tzv. dynamometrech. V nich předem definovaný vzorek textilie upínáme mezi dvě čelisti, z nichž jedna se pohybuje a namáhá vzorek na tah až do meze pevnosti F_{max} .

Působící síla F je snímána v závislosti na prodloužení vzorku Δl a tuto závislost $F = F(\Delta l)$ nazýváme pracovní diagram, který představuje celkové vlastnosti plošné textilie. Výsledkem pracovního diagramu je tahová křivka, znázorněná na obrázku 9, z které je možné určit maximální sílu, sílu při přetrhu, tažnost při maximální síle a tažnost při přetrhu. Tato výsledná tahová křivka má charakteristické tři sekce, které nejsou mezi sebou ostře ohraničeny, ale plynule přecházejí jedna v druhou a mají u různých textilií různé relace, [10].

- **Sekce a** je výsledkem mezivlákněných třecích sil a to jak ve vazných bodech textilie, tak i v nitích, které jsou napřimovány.
- **Sekce b** je výsledkem vyrovnání tvaru daného vazbou (setkání, spletení). Nítě druhé soustavy se přizpůsobují tomuto vyrovnávání. Vyskytuje se větší přírůstek prodloužení napřimovaných nití.
- **Sekce c** je nástup vlastní pevnosti nití namáhané soustavy a to až k její mezi pevnosti v tahu, kdy dochází k přetrhu, [11].



Obr. 9 Příklad tahové křivky plošné textilie, dle [5]

Z lineární části tahové křivky je možné určit *modul pružnosti v tahu* E užitím matematického vztahu, který uvádí Sodomka v [10]:

$$E = \frac{F}{S \cdot \Delta l} \cdot l_0 \quad (2.4.1)$$

kde l_0 je upínací délka vzorku textilie [mm] a S je plocha upínaného vzorku [mm²]. Z celkové plochy pod křivkou určíme *deformační práci* A , která je přímo úměrná přeměněné tepelné energii W :

$$A = \int_0^l F \cdot dl = W \text{ [J]} \quad (2.4.2)$$

2.4.2 Hodnocení pevnosti a tažnosti plošných textilií v tahu dle normy

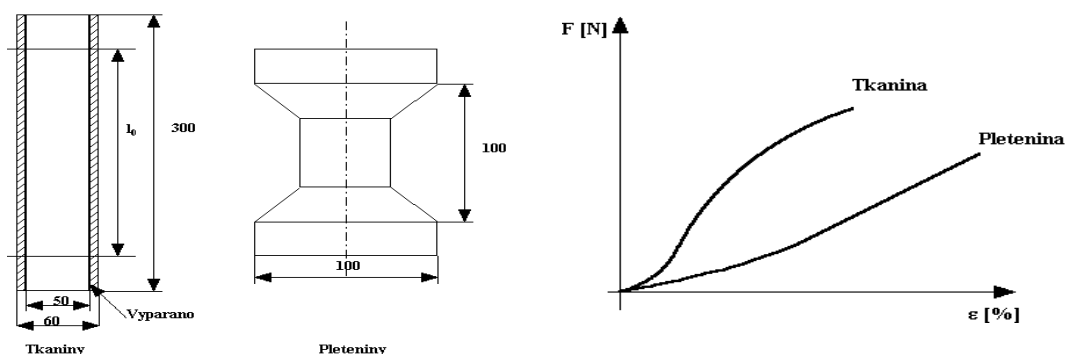
Hodnocení pevnosti a tažnosti plošných textilií je přesně specifikováno českou technickou normou s názvem „Textilie – Tahové vlastnosti plošných textilií“ pod označením ČSN EN ISO 13934-1. Tato metoda je vhodná zejména pro tkaniny, ale může se použít také pro plošné textilie vyrobené jinými technikami.

Metoda stanoví postup zjišťování maximální síly a tažnosti při maximální síle u zkušebních vzorků, které jsou v rovnováze s normálním ovzduším pro zkoušení pomocí metody STRIP. Norma také stanovuje, že pro tuto zkoušku lze použít pouze zkušební přístroj s konstantním přírůstkem prodloužení, [16]. Vzorky se zkouší ve dvou na sobě kolmých směrech a to:

- *U tkanin ve směru osnovy a útku*
- *U pletenin ve směru sloupců a řádků*

Podle normy mají být vzorky vystřiženy z plošné textilie tak, aby neměly ani jednu společnou nit. Normovaný je rovněž tvar vzorků znázorněn na obr. 10a, [5].

U tkanin se vzorek vystřihne přesně po niti v rozměrech $300 \times 60 \text{ mm}$ a vzorek je pak vypárán na šíři 50 mm . Upínací vzdálenost $l_0 = 200 \text{ mm}$. **U pletenin** se vzorek vystřihuje podle šablony a zkouší se ve tvaru stočeném podél osy. Upínací délka $l_0 = 100 \text{ mm}$.

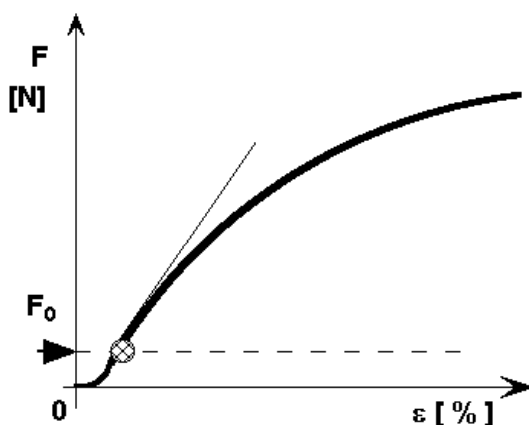


Obr. 10 a) Tvar vzorků pro zkoušení pevnosti tkanin a pletenin b) Typické tahové křivky tkanin a pletenin, dle [5]

U tkanin a pletenin je nutno očekávat rozdílný tvar křivek pevnosti a tažnosti. Tkanina bývá pevnější, má strmější křivku a menší tažnost. Pletenina mívá nižší pevnost, větší tažnost a křivku pozvolněji stoupající (viz obr.10b). Pokud se tahové křivky v obou na sebe kolmých směrech výrazně liší, pak hovoříme o jevu, který se nazývá **anizotropie**, [5].

2.4.2.1 Předpětí

Pracovní tahová křivka textilií se odlišuje od tahových křivek kovů tím, že z počátku nevzrůstá síla, resp. napětí lineárně s deformací (viz obr. 11). Projevuje se zde zakřivení, které je způsobené tím, že se uvnitř textilie vyrovnávají vnitřní síly. Například se natáhne zvlnění vláken, proklouznou po sobě volné konce vláken v přízi a volně uložené vazné body v plošné textilii. Abychom mohli přesně stanovit deformaci textilie, která je závislá na změně délky, definujeme před měřením pevnosti na textilii předběžnou sílu, kterou nazýváme **předpětí**. Jeho velikost je stanovena normou podle typu textilie, [5].



Obr. 11 Předpětí, dle [5]

2.4.3 Pevnost tkanin a pletenin

Tkaniny

Pevnost plošné textilie je definovaná jako síla potřebná k porušení jednotkové šířky. Pevnost při namáhání ve směru osnovy nebo útku závisí především na pevnosti odpovídajících nití a na jejich hustotě – dostavě D_o , D_u . Vztah pro pevnost tkaniny je pak dán následovně:

$$F_{p-o,u} = D_{o,u} F_N K_{VP} \quad (2.4.3)$$

kde $D_{o,u}$ je dostava osnovy nebo útku, F_N je pevnost nitě v $[m.kg.s^{-2}]$ a K_{VP} je koeficient využití pevnosti.

K hlavním důvodům, vedoucím k neúplnému využití pevností nití ve tkanině, patří:

- *nestejnoměrnost nitě*
- *způsob namáhání nitě,*
- *nestejnoměrnost struktury tkaniny*
- *lokální koncentrace napětí při experimentu, která se vyskytuje především v místě upnutí.*

Pleteniny

Pevnost pleteniny patří mezi nejdůležitější vlastnosti pleteniny, 8. Pro modelové stanovení pevnosti pleteniny platí jednoduchý vztah pro určení síly. Síla F_p je síla potřebná k porušení textilie v šíři 1m textilie je dána vztahem:

$$F_p = H_{\tilde{r},s} F_N K_{VZ} K_{VP} \quad (2.4.4)$$

kde $H_{\tilde{r},s}$ je hustotu řádků a sloupků m^{-1} , F_N je pevnost nitě $m.kg.s^{-2}$, K_{VP} je koeficient využití pevnosti, který se však obtížně zjišťuje a K_{VZ} je koeficient vazby, udávající počet nití ve sloupku nebo řádku, které se na pevnosti podílejí, 12. U pletenin bývá $K_{VP} < 1$. Reprezentuje nestejnoměrnost pevnosti nitě, struktury textilie, komplikovanější způsob namáhání nitě apod.

2.5 Vybrané konstrukční parametry plošných textilií

Konstrukční parametry plošných textilií, ovlivňují chování textilií a v neposlední řadě i jejich mechanické vlastnosti. Konstrukčními parametry plošných textilií popisují geometrii plošné textilie a její hmotnostní charakteristiky. Patří mezi ně tloušťka, plošná měrná hmotnost, objemová hmotnost, pórovitost, vazba, hustota provázání a další.

Konstrukce textilie je ovlivňována činností pracovních orgánů, které vytvářejí soudržné síly mezi jednotlivými částmi struktury textilie. Základním prvkem konstrukce plošné textilie je **vazný bod**, [5].

Tloušťka textilie h

Tloušťka plošné textilie je definována jako kolmá vzdálenost mezi lícem a rubem textilie, měřená za předepsaného zatížení.

Plošná měrná hmotnost ρ_s

Vyjádřením hmotnosti 1 m² plošné textilie je plošná měrná hmotnost ρ_s uváděná vztahem, [23]:

$$\rho_s = \frac{m}{S} \text{ [kg.m}^{-2}\text{]} \quad (2.5.1)$$

kde m je hmotnost textilie v [kg] a S je plocha textilie v [m²]. Pro velmi hrubé rozdělení plošných textilií všeho druhu se používá třídění uvedené v tabulce 1,[11]:

Tab. 1 Hrubé rozdělení plošných textilií

Typ textilie	Plošná měrná hmotnost $\rho_s \text{ [kg.m}^{-2}\text{]}$
Lehká	Do 120.10 ⁻²
Střední	120-220.10 ⁻²
Těžké	Nad 220.10 ⁻²

Objemová měrná hmotnost ρ_v

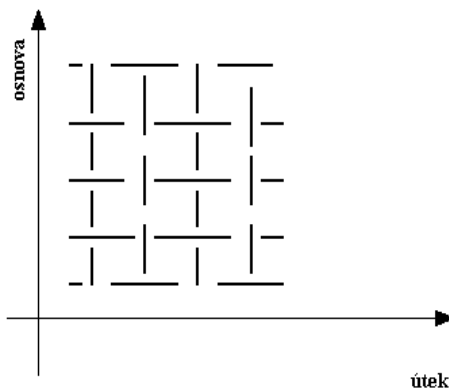
Objemová měrná hmotnost ρ_v je definována jako hmotnost 1 m^3 plošné textilie. Vyjadřuje se pomocí plošné měrné hmotnosti ρ_s a tloušťky textilie h daného objemu. Určuje, jakou má textilie hustotu a kolik vzduchu je mezi vlákny. Je definována vztahem:

$$\rho_v = \frac{m}{V} = \frac{m}{Sh} = \frac{\rho_s}{h} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (2.5.2)$$

kde m je hmotnost plošné textilie v [kg] a V je objem plošné textilie v $[\text{m}^{-3}]$.

Vazba

Vazba plošné textilie udává vzájemnou polohu nití. Je možné ji definovat jako systém, kterým jsou provázány jednotlivé nitě v plošné textili. Vazba vytváří soustavu vazebních bodů, ve kterých dochází ke vzniku třecích sil. Ty jsou hlavním nositelem mechanických i tvarových vlastností plošných textilií, [11]. Vazba má vliv na pevnost, pružnost, tuhost, splývavost a i na omak. U tkanin se specifikuje vazba hustotou provázání osnovních a útkových nití, tzv. **dostavou**. U pletenin se specifikuje hustota provázání hustotou sloupků a řádků.



Obr. 12 Dostava osnovy a dostava útku u tkaniny, dle [5]

Dostava tkaniny je počet nití jednoho směru na délku 10 mm druhého směru a při jejím určení vycházíme ze vztahu:

$$D = \frac{n}{l} 10^{-2} \quad [\text{nití}/100\text{mm}], \quad (2.5.3)$$

kde n je počet osnovních nebo útkových nití a l je měřená délka osnovní nebo útkové nitě.

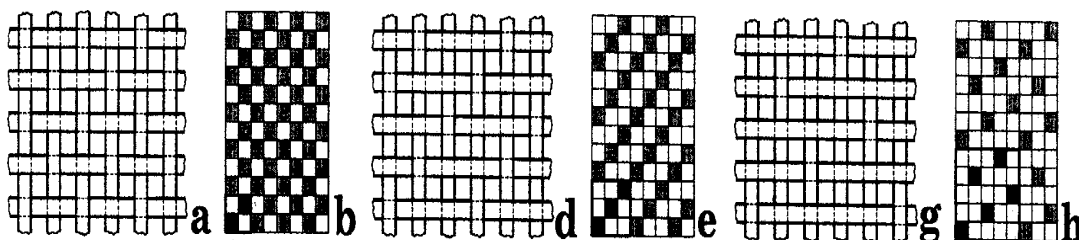
Hustota provázání pletenin

Hustota provázání u pletenin se stanoví obdobně jako dostava u tkaniny. V pletenině je však místo počtu nití osnovy a útku počítán počet sloupků a řádků na 10 mm, definovaný jako hustota sloupků H_S a hustota řádků H_R na 10 mm. Z nich se pak určí hustota celková H_C , [5]:

$$H_C = H_S \times H_R \quad (2.5.4)$$

2.5.1 Vazby tkanin

Vazby tkanin mohou být základní a odvozené. Příklady základních vazeb jsou znázorněny na obrázku č. 13. Jedná se postupně o vazbu plátňovou, třívazný útkový kepr směru Z a pětivazný útkový atlas s postupným číslem $p = 2$. Na obrázku č. 13 je uvedeno schéma provázání osnovních (podélných) a útkových (příčných) nití pod označením a , d , g , dále je uveden symbolický zápis vazby, který nazýváme *patrona* – viz b , e , h . Opakování vazby, resp. *střída vazby* je v patroně silněji ohraničena.



Obr.13 Základní vazby tkanin: a) b) plátňová, d) e) keprová, g) h) atlasová, dle [6]

2.5.1.1 Základní vazby tkaninPlátňová vazba

Plátňová vazba je nejjednodušší a nejhustěji provázaná vazba. Jedná se o nejpevnější a nejtrvanlivější vazbu. Střídu vazby tvoří dvě nitě osnovní a dvě nitě útkové. Je to vazba oboustranná. Typické je pro ni pravidelné střídání osnovních a útkových vazných bodů, resp. skupin osnovních a vazných bodů. Nejmenší střída plátňové vazby je 2 x 2.

Keprová vazba

Keprové vazby jsou buď útkové nebo osnovní a jsou charakteristické diagonálním řádkováním levého nebo pravého směru. Směr řádkování se značí buď písmeny nebo šipkou. Pro pravý směr řádků se používá písmeno Z a pro levý písmeno S.

Při stejné hustotě osnovy i útku je sklon řádků 45° , je-li osnova hustší, je sklon řádků strmější, a naopak, při hustším útku je sklon řádků mírnější. Nejmenší střída kepru je 3×3 .

Atlasová vazba

Atlasové vazby jsou buď osnovní nebo útkové a vyznačují se leskem, který je způsoben vazbou. Mají nevýrazné šikmé řádkování. Vazné body jsou pravidelně rozsazeny tak, aby se vzájemně nedotýkaly. Musí se sestavovat podle tzv. postupného (eventuelně vzestupného) čísla, které určuje na kolikáté osnovní niti je v následujícím řádku další vazný bod. Tkanina atlasové vazby je podstatně hustší a těžší než v plátnové vazbě. Nejmenší střída vazby atlasu je 5×5 , která se také nejvíce používá.

Šířka a výška střídý (opakování) vazby je dána počtem osnovních a útkových nití n_o , n_u a počet vazných bodů ve střídě je definován jako $n_o \cdot n_u$. Úsek nitě spojující sousední opačné vazné body se nazývá **provazující úsek**. Pokud úsek nitě spojuje stejné vazné body, pak hovoříme o úseku nitě ležícím, nebo-li o **flotaci**. Hustotu provázání lze pak vyjádřit poměrem počtu provazujících úseků (tj. průchodů nitě z lící na rubní stranu tkaniny). Minimální počet provazujících úseků ve střídě vazby je 4 pro osnovní i útkové nitě, [6].

2.5.2 Vazby pletenin

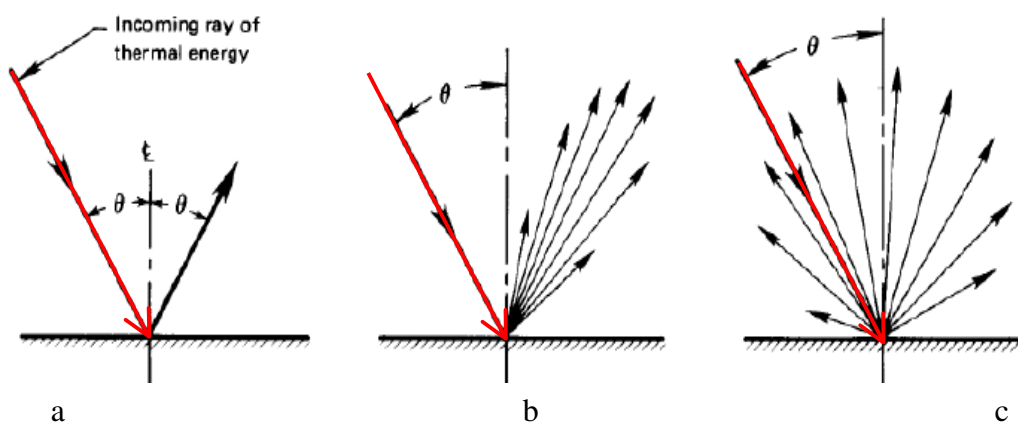
Základní rozdělení vazeb pletenin rozlišujeme podle toho, zda jsou vyráběny z příčné soustavy nití nebo z podélné soustavy nití. Pokud jsou vyráběny z příčné soustavy nití, pak hovoříme o pleteninách zátažných a pokud z příčné soustavy pak hovoříme o pleteninách osnovních.

Bližší specifikaci základních vazeb pletenin nebudeme uvádět, jelikož pleteniny jako takové, nejsou předmětem zkoumání ve stanovém experimentu.

2.6 Vybrané vlastnosti povrchu plošné textilie

V základní charakteristice obecných povrchů vycházíme z množství odražených paprsků. Pokud neuvažujeme částečnou absorpci textilií můžeme rozdělit jednotlivé povrchy na:

- *Ideálně lesklé povrchy* – odráží všechny paprsky pod stejným úhlem viz obr.14a.
- *Reálné povrchy* – jde o povrchy částečně lesklé a částečně matné viz obr.14b.
- *Ideálně matné povrchy* – vytváří difúzní polokouli, kde ve všech směrech jsou odražené paprsky stejné intenzity viz obr.14c.



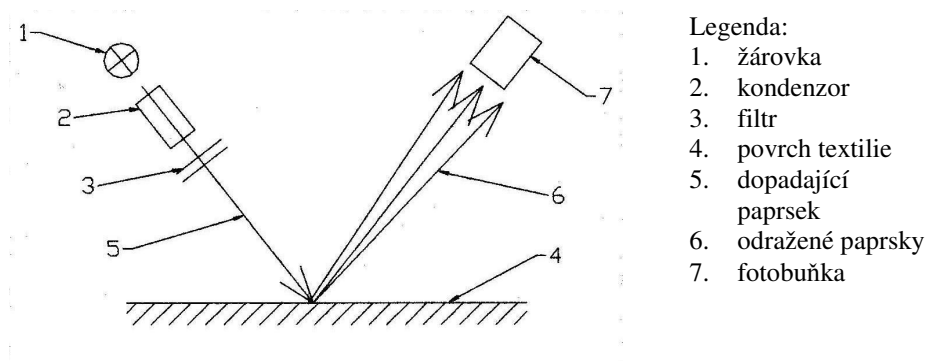
Obr. 14 Typy povrchů a jejich reflexní poměry, a – dokonale lesklý, b – reálný povrch (částečně lesklý a částečně matný), c – dokonale matný dle [15],

Lesk a odrazivost

Lesk na povrchu textilie vzniká zatlačením povrchových vláken do struktury textilie. Povrch pak odráží dopadající světlo a vykazuje vyšší lesk. Lesk samotných vláken nemusí být konstantní a může se podle jejich zpracování měnit. Má vliv na poměrnou zářivost, tzv. emisivitu, která bude vysvětlena v kapitole 2.9.1 a 2.9.1.1.

Odrazivost a její určení

Odrazivost neboli remisi zjišťujeme reflektometrem a to tak, že odražené množství paprsků dopadajícího světla, je snímáno ve směru úhlu odrazu fotobuňkou (viz obr.15). Z výsledků pak můžeme určit typ reflexního povrchu. Míra lesku se u běžných textilií pohybuje cca v rozmezí od 17% do 35%.



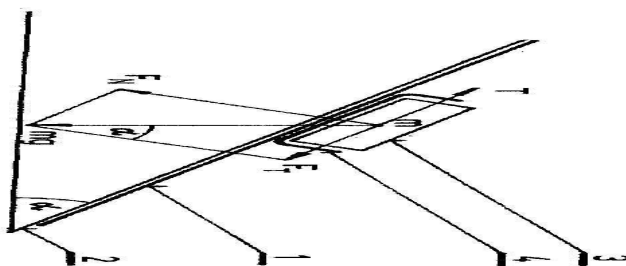
Obr. 15 Schéma reflektometru dle [25]

Klouzavost

Klouzavost patří mezi povrchové vlastnosti plošných textilií, jež vyplývají do značné míry z třecích charakteristik vláken, [11]. Klouzavost se určuje mezi dvěma povrchy a vyjadřuje ji dynamický koeficient tření μ , jenž je odvozen ze vzájemné relace třecí F_T a normálové síly F_N :

$$\mu = \frac{F_T}{F_N} = \frac{mg \sin \alpha}{mg \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha \quad (2.6.1)$$

Koeficient tření zjišťujeme pomocí přístroje s nakloněnou rovinou, tzv. tribometrem a regulovatelným úhlem sklonu (viz obr.16) a to tak, že úhel sklonu nakloněné roviny se postupně zvyšuje až do okamžiku, kdy se závaží s textilií dá do pohybu.



Legenda:

- 1. zkoušená textilie
- 2. nakloněná rovina
- 3. kovové závaží
- 4. normovaná textilie

Obr. 16 Nakloněná rovina

2.7 Tření plošných textilií

Tření plošných textilií je jednou z významných vlastností textilií a je definováno jako vzájemné působení mezi dvěma navzájem oddělenými a pohyblivými povrchy. Protože příze v plošných textiliích nejsou přísně válcové útvary a mají určité množství odstávajících vláken a kliček, které se rovněž podílejí na tvorbě třecích sil, je tření záležitostí především povrchových vláken, [11]. U plošných textilií jsou vzájemně provazující se nitě, zvláště ve tkaninách, vázány *třecími silami opásáním*.

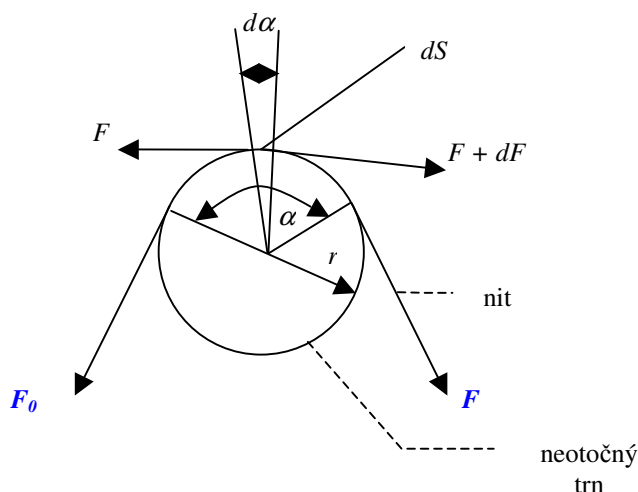
2.7.1. Tření opásáním

Tření nitě opásáním můžeme popsat následovně: „Uvažujeme-li trn o poloměru r , přes který je opásána nit na oblouku (viz obr. 17), pak při konstantním koeficientu tření f po celé délce oblouku působí v každém elementu oblouku dS síla dF a její normálová složka $F \cdot d\alpha$ “. Pro rovnováhu v elementu pak platí $dF = f \cdot F \cdot d\alpha$, kde závislost mezi silami F_0 a F je dána výrazem, [11]:

$$F = F_0 \exp f(\alpha) = F_0 \cdot e^{\alpha \cdot f} \quad (2.7.1)$$

Kde pro elementární změnu úhlu opásáním $d\alpha$ platí

$$d\alpha = \frac{dS}{r}. \quad (2.7.2)$$



Obr.17 Tření nitě opásáním, dle [11].

2.7.1.1 Součinitel tření a jeho měření

Vazby tkanin vytvářejí osnovní a útkové vazné body, které se velkou měrou podílejí na součiniteli tření tkanin. Vlastní povrch tkaniny má pak svůj součinitel tření, který by se měl dát teoreticky odvodit ze součinitele tření vláken. Jelikož však doposud nikdo takovou teorii nevypracoval, určuje se součinitel tření u plošných textilií většinou experimentálně, [10].

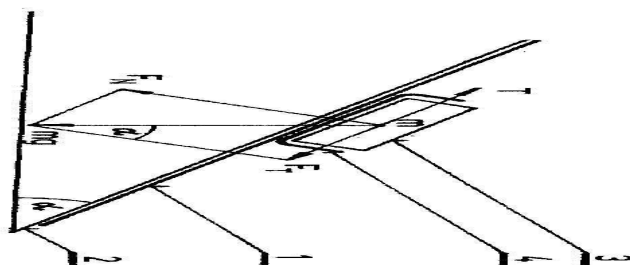
Součinitel tření plošných textilií je možné měřit stejně jako délkové textilie třemi metodami, [10]:

- *metodou vlečného tření,*
- *metodou valivého tření,*
- *metodou opásáním.*

Nejjednodušší a nejrozšířenější metodou měření součinitele tření je měření pomocí nakloněné roviny (viz obr.18), která realizuje vlečné tření. Výhodou je, že tangenta úhlu nakloněné roviny φ se rovná přímo součiniteli tření:

$$\operatorname{tg} \varphi = f \quad (2.7.3)$$

Metodou nakloněné roviny je možné určit také statický součinitel tření f_s a kinetický součinitel tření f_k z úhlů při vzniku pohybu a při jeho zastavení, [10].



Legenda:

1. zkoušená textilie
2. nakloněná rovina
3. kovové závaží
4. normovaná textilie

Obr. 18 Schéma nakloněné roviny

2.7.3 Statické a kinetické tření

Tření se uplatňuje podle toho zda dochází k pohybu dotýkajících se těles či k pohybu nedochází. Podle toho se tření uplatňuje:

- *Staticky*
- *Kineticky*

Staticky se tření uplatňuje, pokud nedochází ke vzájemnému pohybu dotýkajících se těles [6]. V tomto případě pomáhá tření zajišťovat stabilitu systému. Zároveň však také brání zaujetí stabilního stavu a ztěžuje relaxační procesy.

Kineticky se tření uplatňuje při vzájemném pohybu dotýkajících se těles. Mechanická energie se přeměňuje na tepelnou. Přeměněná energie W je přímo úměrná vykonané práci A .

2.7.4 Vnitřní tření plošných textilií a přeměna energie

Vnitřní tření plošných textilií se uplatňuje vždy při deformaci jakékoliv textilie. Teorie přeměny mechanické energie na energii tepelnou vychází z molekulární a deformační teorie. Obecně platí, že mechanická energie se mění na tepelnou nejen na povrchu, v místě kontaktu vzájemně se posouvajících těles, ale i uvnitř textilie samotné, [6]. K přeměně energie tedy dochází:

1. *Třením mezi vlákny příze,*
2. *Třením uvnitř vláken, tj. viskózními a plastickými složkami deformace vláken,*
3. *Posuvem nití ve vazných bodech při deformaci plošné textilie.*

Molekulární teorie vychází z podstaty tepla, kde makropohyb posouvajících těles, se mění na mikropohyb elementárních částic hmoty. Při tření (kontaktu těles) se elementární částice hmoty (molekuly) dostávají do takové blízkosti, že se uplatňují vzájemně působící síly, což vede ke zvětšení amplitudy kmitání molekul, [6].

Deformační teorie počítá i s plastickou deformací povrchu těles, které jsou v kontaktu. Základem teorie je, že vlivem nerovnoměrnosti povrchu je plocha skutečného kontaktu vždy tak malá, že dojde k překonání meze plastické deformace při každé hodnotě normálové síly F_N . I v tomto případě se však uplatňuje molekulová teorie, [6].

2.8 Teplo

Teplo je energie spojená s náhodným a neuspořádaným pohybem částic, ze kterých je složena daná látka. Všechny materiály, jejichž teplota je větší než 0 Kelvinů obsahují teplo a zářivou infračervenou energii. Hlavní jednotkou tepla je joule [J], [13].

2.8.1 Nauka o sdílení tepla

Nauka o sdílení tepla se zabývá problematikou průchodu tepla mezi soustavou a okolím.

Sdělené teplo Q je z hlediska termodynamiky částí energetické interakce (vzájemné působení dvou nebo více činitelů) mezi soustavou a jejím okolím, která je podmíněna rozdílem teplot mezi teplotou soustavy T_s a teplotou okolí T_o , [13].

Tepelný tok také tepelný výkon Φ vyjadřuje rychlost průchodu tepla danou plochou nebo též výkon přenášený při průchodu tepla danou plochou, [13]:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} [\text{J.s}^{-1}] = [\text{W}] \quad (2.8.1)$$

Hustota tepelného toku nebo také plošná hustota tepelného toku $\vec{q}(\vec{\Phi})$. V daném místě je vektor, jehož velikost q se rovná podílu tepelného toku $d\Phi$ procházející v daném okamžiku zvolenou elementární plochou kolmou ke směru průchodu tepla a plošného obsahu dS_n této plochy, [13]:

$$\vec{q} = \frac{d\Phi}{dS_n} [\text{W.m}^{-2}], \quad (2.8.2)$$

Směr vektoru \vec{q} je určen směrem sdílení tepla a je proto kolmý k ploše dS_n . Celkový tepelný tok Φ procházející orientovanou plochou o plošném obsahu S je pak určen vztahem:

$$\Phi = \int_S \vec{q} \cdot \vec{e}_n \cdot dS, \quad (2.8.3)$$

kde $\vec{e}_n \cdot dS$ je vektorový element této plochy, jehož velikost je rovna jeho plošnému obsahu dS a \vec{e}_n je jednotkový vektor ve směru normály k ploše v místě, kde je její element určen, [13].

2.8.2 Rozdělení sdílení tepla

Sdílení tepla nebo také přenos vnitřní energie je samovolný nevratný proces šíření tepla v prostoru s nehomogenním teplotním polem, [13]. Přenos tepla z míst s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou se může uskutečnit třemi způsoby:

- **vedením** neboli kondukcí,
- **prouděním** neboli konvekcí,
- **zářením** neboli radiací.

Všechno teplo je přenášeno z těchto tří typů přenosů, obvykle je jeden způsob sdílení tepla doprovázen dalším. Infračervená termografie je nejbližší přenosu tepla zářením.

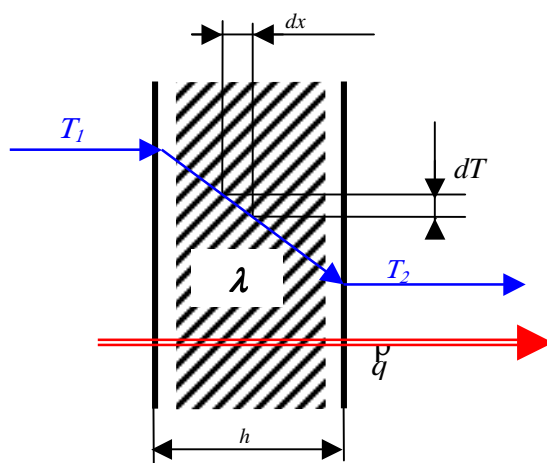
2.8.2.1 Sdílení tepla vedením

Sdílení tepla vedením je způsob sdílení tepla z teplejších míst pevné látky nebo klidné tekutiny k chladnějším místům předáváním energie z částice na jinou částici, aniž jsou v pohybu makroskopické části látky, [13].

Pro sdílení tepla vedením v homogenním prostředí je definován *Fourierův zákon*, podle něhož hustota tepelného toku \vec{q} je úměrná teplotnímu gradientu, [13]:

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad}T \quad (2.8.4)$$

kde $\text{grad}T$ je gradient termodynamické teploty T (růst teploty) v témže místě látky a konstanta úměrnosti λ je veličina zvaná součinitel tepelné vodivosti o rozměru $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Záporné znaménko ve vztahu vyjadřuje, že tepelný tok má opačný směr než-li růst teploty.



Obr. 19 Průchod tepla látkou o tloušťce h

O jednorozměrném vedení tepla (v 1D tělese) hovoříme tehdy, když teplota se v daném tělese mění jen v závislosti na jedné souřadnici. Pro tento případ jsme schopni určit sdílení tepla vedením ve směru osy x , jak ukazuje obrázek č.19, jednoduše:

$$\dot{q} = -\lambda \frac{dT}{dx} = \frac{\lambda}{h} (T_1 - T_2) = \frac{1}{R_\lambda} (T_1 - T_2) \text{ [W.m}^{-2}\text{]} \quad (2.8.5)$$

kde podíl dT/dx je teplotní gradient $gradT$ ve směru osy x , h je tloušťka materiálu a R_λ je tepelný odpor, který je inverzní hodnotou součinitele tepelné vodivosti.

Rovnice (1) je tedy jednorozměrným (1D) tvarem Fourierova zákona. Pokud hovoříme o sdílení tepla ve 2D tělese, pak se tepelný tok šíří dvěma směry a pokud hovoříme o 3 D tělese, tepelný tok se může šířit (téci) obecně všemi směry x, y, z , což znamená, že tepelný tok \dot{q} , jako vektor, má tři složky, do jednotlivých tří směrů:

$$\dot{q}_x = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad \dot{q}_y = -\lambda \frac{dT}{dy} \quad \dot{q}_z = -\lambda \frac{dT}{dz} \quad (2.8.6)$$

Mění-li se teplota T při vyrovnávání teplotních rozdílů v tělese, je sdílení tepla vedením *nestacionární* (neustálené). Jedná se o změny teploty v daném místě s časem, tj. termodynamická teplota T daného místa homogenního prostředí je v tomto případě funkcí souřadnic a času:

$$T = T(x, y, z; t) \quad (2.8.7)$$

Pokud je však teplota funkcí polohy, ale ne funkcí času, hovoříme o *stacionárním* (ustáleném) sdílení tepla, [2,13].

2.8.2.1.1 Součinitel tepelné vodivosti a tepelný odpor

Součinitel tepelné vodivosti λ charakterizuje schopnost dané látky sdílet teplo vedením a je roven podílu hustoty tepelného toku \dot{q} a teplotního gradientu $gradT$. Obecně závisí na termodynamické teplotě, tlaku a složení látky a určuje se zpravidla měřením hustoty tepelného toku, gradientu teploty a výpočtem z Fourierova zákona, [13].

Látky s vysokým součinitelem tepelné vodivosti jsou dobrými vodiči tepla. Patří mezi ně kovy. Nejmenší součinitel tepelné vodivosti pak mají plyny. Proto také pevné

látky, v nichž je velký počet malých mezer nebo dutin (pórů) obsahujících vzduch kladou odpor a vedou teplo velmi špatně. Z toho důvodu se používají jako dobré tepelné izolanty. Patří mezi ně bezesporu také délkové či plošné textilie. Tepelná vodivost takovýchto látek však značně závisí na jejich vlhkosti. Rozlišuje se u nich proto součinitel tepelné vodivosti suché látky λ_s a součinitel tepelné vodivosti vlhké látky λ_v , [13].

Tepelný odpor R je podíl teplotního rozdílu a tepelného toku o rozměru $K.W^{-1}$ a je inverzní hodnotou součinitele tepelné vodivosti.

Celkový tepelný odpor R je podíl teplotního rozdílu ΔT mezi dvěma izotermickými plochami (plochami konstantní teploty) a tepelného toku Φ procházející od jedné z nich ke druhé,

$$R = \frac{\Delta T}{\Phi} [K.W^{-1}], \quad (2.8.8)$$

Celková tepelná vodivost G je inverzní hodnotou celkového tepelného odporu tělesa R :

$$G = \frac{1}{R} [W.K^{-1}], \quad (2.8.9)$$

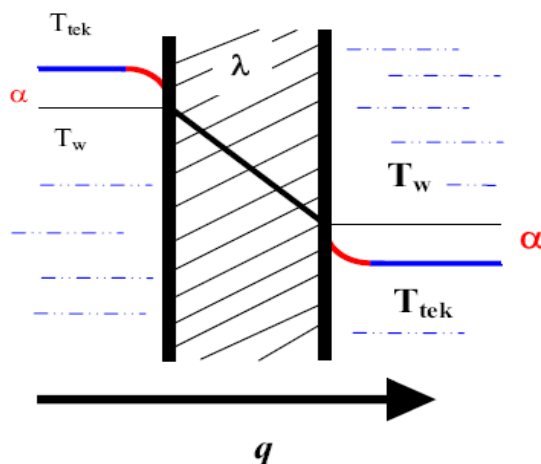
2.8.2.2 Sdílení tepla prouděním

Sdílení tepla prouděním nebo také konvekcí je sdílení tepla tekutinou při jejím proudění. Mechanismus proudění je spojen s původem pohybu tekutiny a proto se rozděluje do dvou základních mechanismů:

- *mechanismus volného proudění*
- *mechanismus nuceného proudění*

Volné proudění probíhá samovolně přemísťováním tekutiny následkem její rozdílné hustoty v různých místech prostoru. V plošných textiliích se volná konvekce nevyskytuje, jelikož vzduch je v plošné textilii staticky uzavřen.

Nucená konvekce probíhá, působením vnějších účinků na tekutinu například ventilátorem, čerpadlem.



Obr. 20 Grafické znázornění součinitele přestupu tepla α dle [13]

Sdílení tepla prouděním se uplatňuje při přechodu tepla z tekutiny do pevného tělesa nebo obráceně (viz obr.20). Přitom vznikne vždy podél pevné stěny ve směru proudu tekutiny tenká vrstva zvaná tepelná *mezní vrstva*, ve které se teplota proudu mění od teploty stěny T_w do hodnoty velmi blízké teplotě neovlivněného proudu T_{tek} . Mezní vrstva se vytváří přilnavostí molekul tekutiny k povrchu pevného tělesa. V praxi se předpokládá, že tloušťka této vrstvy je taková vzdálenost od povrchu, kde platí $T = 0,99 T_{tek}$. Pro vyjádření celkového účinku proudění se pak používá Newtonův ochlazovací zákon ve tvaru:

$$\dot{q} = |\dot{q}| = \alpha \cdot (T_w - T_{tek}), \quad (2.8.10)$$

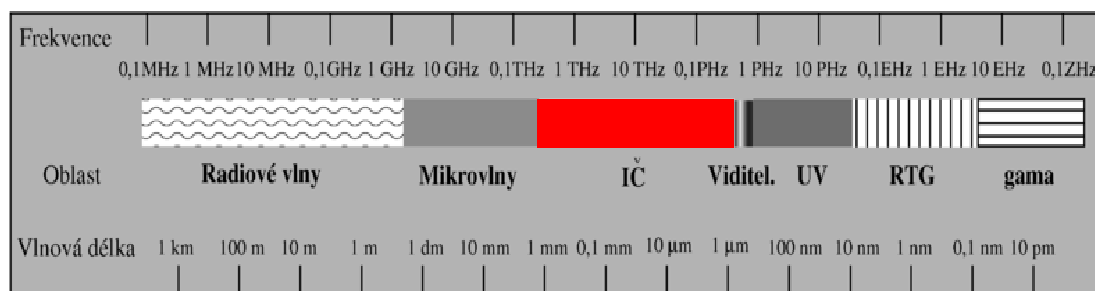
kde α je součinitel přestupu tepla ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) a je inverzní hodnotou plošného tepelného odporu R_α při přestupu tepla, tedy $\alpha = 1/R_\alpha$. Plošný tepelný odpor R_α při přestupu tepla vyjadřuje tepelný odpor plošné jednotky rozhraní dvou látek různého skupenství:

$$R_\alpha = \frac{\Delta T}{q}, \quad (2.8.11)$$

kde ΔT je rozdíl termodynamických teplot těchto látek a q je hustota tepelného toku procházející jejich rozhraním, 35. Přenos tepla prouděním na jednotku plochy S můžeme vyjádřit upraveným Newtonovým pravidlem: $\dot{Q} = \alpha \cdot S \cdot (T_w - T_{tek}) = \Delta T/R$; $R = 1/\alpha S$, [13].

2.8.2.3 Sdílení tepla zářením

Sdílení tepla zářením, též *sdílení tepla sáláním*, je způsob sdílení tepla uskutečňovaný elektromagnetickým zářením. Sdílení tepla zářením není oproti přenosu tepla kondukcí a přenosu tepla konvekcí podmíněno přítomností zprostředkujícího média, aby mohlo být uskutečněno. Přenos tepla zářením je možné realizovat i v absolutním vakuu.



Obr. 21 Elektromagnetické spektrum dle [19]

Nejdůležitější veličinou charakterizující elektromagnetické záření, je jeho vlnová délka. Podle vlnové délky, případně frekvence elektromagnetického vlnění, rozlišujeme několik druhů elektromagnetického záření, jejichž souhrn vytváří elektromagnetické spektrum znázorněné na obrázku č.21, [12].

Bez ohledu na druh elektromagnetického záření je záření šířeno rychlostí světla $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. Tato rychlost c je rovna součinu vlnové délky λ a frekvence f , $c = \lambda \cdot f$. Tepelné záření je přenášeno ve formě diskretních kvant. Kvantum si můžeme představit jako částici, která má určitou energii, hmotnost a hybnost, které proudí z místa na místo, [2].

Vyzařování je převážně důsledkem děje, při němž atomy tělesa získávají vlivem tepelného pohybu vyšší energii a tu pak vyzařují v podobě zářivé energie. Záření, které takto vzniká, nazýváme **tepelné záření**. Je reprezentováno tokem fotonů ve spektru elektromagnetického záření a jeho velikost u každého tělesa závisí především na teplotě tělesa. Platí, že s rostoucí teplotou tělesa rychle roste celková energie zářivého toku a naopak, [13].

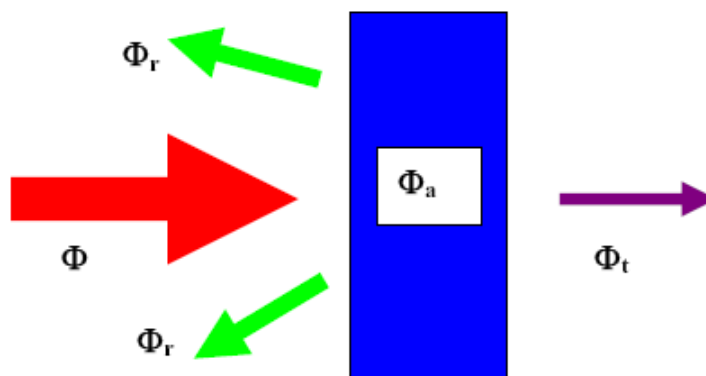
Pro popis dějů spojených s vyzařováním energie je zavedena fyzikální abstrakce – černé těleso, jenž bude více popsáno v kapitole 2.8.2.3.2.

2.8.2.3.1 Záření reálných těles

Zářivá energie, kterou vysílá povrch tělesa určitou plochou za jednotku času, se nazývá zářivým tokem či výkonem, je to výkon přenášený zářením, má označení P nebo Φ a jeho jednotkou je W ($1 \text{ W} = 1 \text{ J.s}^{-1}$), [13].

Intenzita vyzařování M v daném bodě povrchu je podíl zářivého toku, vycházející z elementu povrchu a plochy tohoto elementu a má jednotku W.m^{-2} .

Přenos zářivé energie prostředím, resp. interakce s tělesem je znázorněn na obr. 22.



Obr.22 Interakce zářivé energie s tělesem, dle [13]

Ozařujeme-li nějaké těleso zářivým tokem Φ , potom těleso bude část toku tohoto pohlcovat – Φ_a , část toku bude odrážet – Φ_r a část toku propouštět – Φ_t . Protože tato skutečnost platí pro všechna tělesa, definují se součinitelé, které popisují vlastnosti tělesa:

$$\text{součinitel pohlcení (pohltivosti)} : \quad \alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi}, \quad (2.8.12)$$

$$\text{součinitel odrazu (odrazivosti)} : \quad \rho = \frac{\Phi_r}{\Phi}, \quad (2.8.13)$$

$$\text{součinitel prostupu (propustnosti)} : \quad \tau = \frac{\Phi_t}{\Phi}, \quad (2.8.14)$$

Ze zákona o zachování energie platí:

$$\Phi = \Phi_a + \Phi_r + \Phi_t = \alpha\Phi + \rho\Phi + \tau\Phi, \quad (2.8.15)$$

z toho plyne:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad \dots(2.8.16)$$

Pro tělesa, která nejsou transparentní $\tau = 0$ potom platí $\alpha + \rho = 1$, [13].

2.8.2.3.2 Záření absolutně černého tělesa

U těles, jejichž součinitelé prostupu τ a odrazu ρ se rovnají nule, platí vztah:

$$\alpha = 1, \quad (2.8.17)$$

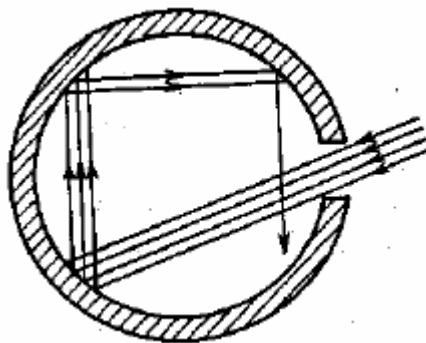
Taková tělesa se nazývají absolutně černá tělesa. Absolutně černé těleso je takové těleso, u něhož součinitel pohlcení dosahuje hodnoty 1 a to na všech vlnových délkách. U modelů černých těles je tento součinitel vždy menší než 1. U velmi kvalitních ČT se hodnota součinitele pohlcení α velmi přibližuje hodnotě 1, 35.

Pokud je těleso v rovnovážném stavu (v tepelné rovnováze) je podle **Kirchhoffova zákona** množství emitované energie z objektu přímo úměrné absorbované energii a pro dokonale černé těleso, pak platí:

$$\varepsilon = \alpha, \quad (2.8.18)$$

Označíme-li intenzitu vyzařování absolutně černého tělesa M_o , potom pro toto těleso platí, že intenzita vyzařování černého tělesa závisí pouze na jeho absolutní teplotě, [13].

$$\frac{M_o}{\pi} = f(T), \quad (2.8.19)$$



Obr. 23 Schematické znázornění černého tělesa dle [13]

Modelem černého tělesa může být dutinový zářič (viz obr.23). Zářivý tok, který otvorem dopadne do dutiny, se mnohonásobným odrazem dokonale pohltí. Činitel pohlcení tohoto dutinového zářiče je rovný 1 a to pro každou vlnovou délku. Pokud se udržuje v dutině tělesa konstantní teplota, je dutina tělesa v termodynamické rovnováze a potom otvor modelu černého tělesa, který pohlcuje veškeré dopadající záření (bez ohledu na jeho vlnovou délku, směr i polarizaci) je zároveň zdrojem záření, [13].

2.9 Základní zákony vyzařování

Mezi základní zákony vyzařování, které byly odvozeny pro absolutně černé těleso patří Planckův, Stefan-Boltzmannův a Wienův zákon.

Energie záření z černého tělesa je obecně různá pro různé vlnové délky, resp. je určitým způsobem rozdělena podle vlnových délek. Po kvantitativní stránce je energie záření charakterizována veličinou, která se nazývá *spektrální hustota vyzařování*. Byla provedena celá řada experimentů, na základě kterých byly zjištěny následující závislosti, [13]:

1. Pro danou teplotu vykazuje závislost spektrální hustoty vyzařování na frekvenci nebo vlnové délce jediné maximum.
2. Se zvyšující se teplotou roste i spektrální hustota vyzařování a to pro kteroukoli frekvenci nebo vlnovou délku.
3. Hodnoty vlnové délky λ pro niž závislost spektrální hustoty na vlnové délce nabývá maxima, se s rostoucí teplotou posouvá k nižším hodnotám a to ke kratším vlnovým délkám.

Na základě výše provedených experimentů byly odvozeny následující dva zákony:

- ***Stefan-Boltzmannův zákon***
- ***Wienův posouvací zákon***

Podle ***Stefan-Boltzmannova zákona*** platí, že intenzita vyzařování dokonale černého tělesa M_0 závisí pouze na jeho termodynamické teplotě T :

$$M_0 = \sigma \cdot T^4, [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.9.1)$$

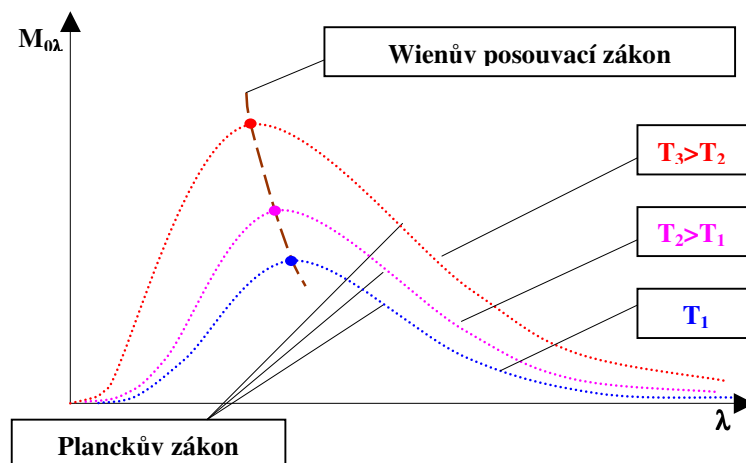
a pro obecné těleso také na jeho emisivitu ε :

$$M = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4, [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.9.2)$$

kde σ je Stefan-Boltzmannova konstanta a má přibližnou velikost $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. Indexem 0 je označeno dokonale černé těleso.

Wienův posouvací zákon udává závislost maximální vlnové délky λ_{max} na termodynamické teplotě T :

$$\lambda_{max} \cdot T = 2898 = konst. [\mu\text{m.K}], \quad (2.9.3)$$



Obr.24 Wienův a Planckův zákon

O vysvětlení průběhu závislostí vyzařované energie na vlnových délkách pro černé těleso se na konci 19.století pokoušela řada fyziků. Použití zákonů klasické termodynamiky a statistiky vedlo k výsledkům, které se s experimentálně zjištěnými závislostmi shodovaly tím lépe, čím delší byla vlnová délka záření. V oblasti kratších vlnových délek této shody nebylo dosaženo. Úsilí odvodit teoretický tvar $f(\lambda, T)$ nevedlo dlouho k žádným výsledkům, až **Max Planck** odvodil vztah, [13]:

$$f(T, \lambda) = H_o(T, \lambda) = \frac{M_o(\lambda)}{\pi} = \frac{2\pi h c_0^2}{\lambda^5 \left(\exp \frac{hc}{k\lambda T} \right)} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left(\exp \frac{c_2}{\lambda T} - 1 \right)} \quad [\text{W.m}^{-2}.\text{m}^{-1}], \quad (2.9.4)$$

kde je h Planckova konstanta o velikosti $h = 6,6260693 \cdot 10^{-34} [\text{W.s}^2]$, k Boltzmannova konstanta o velikosti $k = 1,380662 \cdot 10^{-23} [\text{W.s.K}^{-1}]$, c_0 rychlost světla ve vakuu, c_1 je první radiační konstanta, c_2 je druhá radiační konstanta, přičemž jejich velikosti jsou pro $c_1 = 3,7413 \cdot 10^{-16} [\text{W m}^2]$ a pro $c_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2} [\text{K. m}]$.

Aby tento výsledek Planck obdržel, předpokládal v rozporu s klasickou termodynamikou, že se energie nešíří spojitě, ale po jakýchsi kvantech (viz obr.24), závisících na frekvenci ν : $\Delta W = h \cdot \nu$, kde h je tzv. Planckova konstanta. Molekuly či atomy pohlcují či vyzařují energii v kvantech, které se nazývají fotony a přitom přecházejí z jednoho kvantového stavu do jiného, [13].

2.9.1 Emisivita

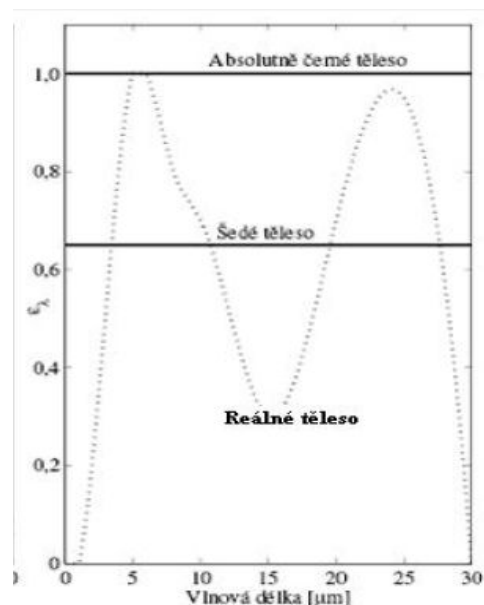
Obecně zářící tělesa mají odlišné vyzařovací vlastnosti ve srovnání s absolutně černým tělesem. Zavádí se proto *emisivita* ε definovaná jako poměr celkové vyzařované energie z určitého povrchu při dané teplotě, k celkové vyzařované energii absolutně černého tělesa při té samé teplotě:

$$\varepsilon = \frac{M_e}{M_0} \quad [1], \quad (2.9.5)$$

Emisivita může být celková, směrová, spektrální nebo pásmová. Emisivita se udává v poměrných číslech v intervalu od 0 do 1, kdy emisivita absolutně lesklého tělesa se rovná 0 a emisivita absolutně černého tělesa je rovna 1.

Emisivita závisí na typu materiálu tělesa, úpravě jeho povrchu, teplotě tělesa, směru vyzařování a v neposlední řadě na vlnové délce, tzv. *spektrální závislost*. Průběh spektrální závislosti emisivity $\varepsilon(\lambda)$ vymezuje tři typy tepelných radiačních těles (viz obr.25), [13]:

- *absolutně černá tělesa*, pro která platí, že na všech vlnových délkách $\varepsilon(\lambda) = 1$,
- *šedá tělesa*, pro která platí, že $\varepsilon(\lambda) < 1$, ale je konstantní na všech vlnových délkách,
- *selektivní zdroje*, správněji *reálná tělesa*, pro které platí, že $\varepsilon(\lambda)$ se mění v závislosti na λ .



Obr.25 Spektrální emisivity různých těles, dle [13]

Obecně platí, že emisivita je funkcí vlnové délky a termodynamické teploty $\varepsilon = f(\lambda, T)$. Emisivita je velmi důležitým faktorem infračervené termografie a její vliv pro kvantitativní vyjádření výsledků není možno zanedbávat.

2.9.1.1 Emisivita textilií

Emisivita tkanin a pletenin

Vliv *materiálu textilie* na emisivitu není příliš významný, pokud se srovnávají režné (nevybarvené) vzorky tkanin nebo hustých nefixovaných pletenin o plošné hmotnosti kolem 100g.m^{-2} . Textilní vazbou použitých vláken se na povrchu textilie vytváří množství dutin, které se chovají jako malá černá tělesa, takže emisivita povrchu je vysoká a to v rozmezí mezi 0,84 až 0,89. Nižší hodnoty platí pro výrobky z hladkého hedvábí, vyšší pro tvarované hedvábí a příze, [1]

Vliv *textilní vazby* je naproti tomu významný. Vzhledem k vysoké propustnosti vykazují zejména tepelně fixované pleteniny až o 10% nižší emisivitu než tkaniny. Dodatečné chemické a fyzikální úpravy textilií, jako např. praní, bělení, měkčení, nemačková úprava a opalování vykazují velmi malý, maximálně 1%-ní vliv na emisivitu, [1].

Mechanické úpravy textilií jako je kalandrování a lisování naproti tomu emisivitu textilie značně snižují. Lisované vlněné textilie mají vůbec nejnižší výslednou emisivitu, ležící v intervalu 0,71 až 0,76, [1].

Chemické složení barviva má značný vliv, ale jen u několika málo druhů barviv. Při stejné sytosti vybarvení je vliv konkrétní barvy malý, má-li barvivo stejné chemické složení. U většiny barviv má složení a odstín barviva maximálně 1%-ní vliv na výslednou emisivitu textilie, [1].

Sytost vybarvení hraje roli jen u některých druhů textilních materiálů, např. u viskózy, je-li použito saturnové barvivo. Sytě vybarvená textilie má v tomto případě výslednou emisivitu 0,82, zatímco režná textilie má výslednou emisivitu 0,87. Snížení emisivity při zvýšené sytosti vybarvení lze vysvětlit zaplněním mikropórů v textilií barvivem, [1].

Vlhkost textilie hraje značnou roli, neboť voda (i v tenkých vrstvách) je vysokým absorberem infračerveného záření. Vlhké vzorky proto vykazují nejvyšší emisivitu a to až 0,92, [1].

Vliv druhu textilie na její radiační propustnost

Pokud jde o propustnost textilií pro infračervené záření, tak nejnižší hodnotu propustnosti mají tkaniny, a to od 0,01 do 0,03. Propustnost pletenin, zejména osnovních činí 0,08 až 0,12. Netkané textilie, pak můžeme charakterizovat vysokou emisivitou (absorpcí) a nízkou propustností, [4].

Souhrnné zhodnocení emisních vlastností tkanin a pletenin

Z přehledu emisních vlastností je patrné, že emisivity většiny vzorků leží v intervalu 0,7 až 0,9 a že propustnost tkanin činí až 0,7 a pletenin až 0,12, což jsou hodnoty značně odlišné od běžné představy o konstantních optických vlastnostech textilií, [1].

2.10 Teplota a její měření

Teplota je mírou tepelné energie obsažené v jakémkoli objektu. Je přímo úměrná střední kinetické energii molekul látky. Nejnižší dosažitelná teplota, což je absolutní nula T_0 je definovaná jako termodynamická teplota, při které dochází k zastavení pohybu. Základní jednotkou termodynamické teploty T je jeden Kelvin „K“, což je 273,16-tý díl termodynamické teploty trojného bodu vody. V praxi se používá také teplota Celsiova t s jednotkou „°C“. Vztah mezi oběma veličinami je definovaný rovnicí, [17]:

$$t = T - T_0 \text{ [°C]}, \quad (2.10.1)$$

kde $T_0=273,15 \text{ K}$. Obě jednotky (°C, K) je možné použít pro vyjádření teplotního rozdílu, přičemž platí:

$$\Delta t = \Delta T \text{ [°C, K]}, \quad (2.10.2)$$

2.10.1 Měření teploty

Teplota kteréhokoliv objektu se dá změřit množstvím metod a prostředků a je definována teplotní stupnicí. Takovouto stupnicí je termodynamická teplotní stupnice, odvozená z účinnosti vratného tepelného stroje. K měření teploty se používá teploměry nebo teploměrných zařízení. Způsob měření teploty rozdělujeme podle toho, zda jsou teploměry či teploměrná zařízení v přímém kontaktu s měřeným objektem či nikoliv na:

- *Kontaktní způsob měření teploty*
- *Bezkontaktní způsob měření teploty*

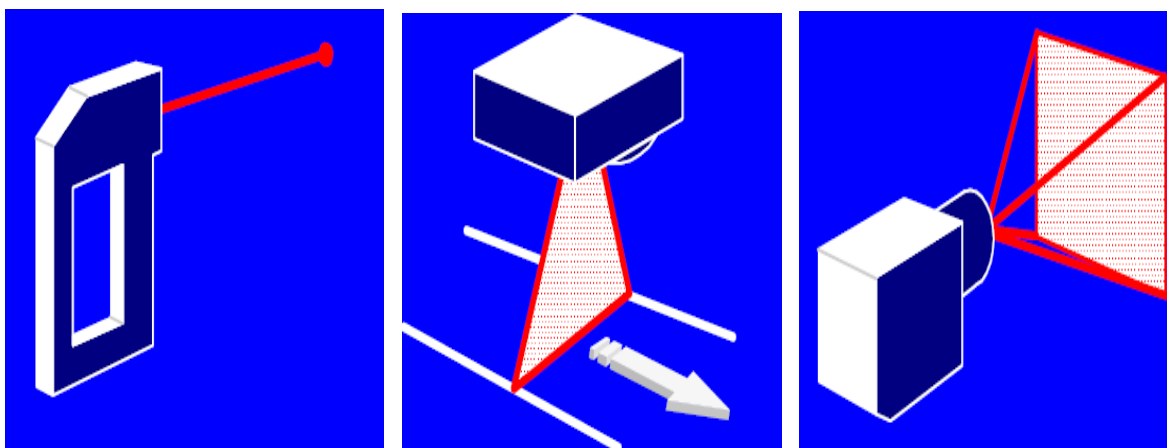
2.10.1.1 Kontaktní měření teploty

U kontaktního způsobu měření teploty jsou měřicí systémy v přímém kontaktu s měřeným objektem nebo prostředím. Kontaktní metody měření teploty má řadu výhod, které spočívá v jednoduchosti měření i ve vyhodnocování zjištěných hodnot. Nevýhodou těchto metod je omezený rozsah měření a nutnost vytvořit přímý mechanický kontakt s měřeným objektem, [17]. Dále značná časová setrvačnost měřicího systému s nemožností měřit teplotu velmi malých objektů a při zjišťování teploty na povrchu je nutno realizovat měření bod po bodu.

2.10.1.2 Bezkontaktní měření teploty

U bezkontaktních metod měření teploty odpadá nutnost přímého spojení měřiče a měřeného povrchu. Techniku pro bezkontaktní měření teplot lze rozdělit podle konstrukčního uspořádání, detektoru a způsobu prezentace výsledného údaje do 3 základních skupin, které jsou znázorněné na následujícím obrázku, [13]:

- *Systémy pro měření teploty v „bodě“* – bezkontaktní teploměry (radiační pyrometry)
- *Systémy pro měření teploty v „řádku“* – liniové skenery
- *Systémy pro měření teploty na „ploše“* – termografické systémy



Obr.26 Systémy pro bezkontaktní měření teplot: a) v bodě b) v řádku c) na ploše dle [13]

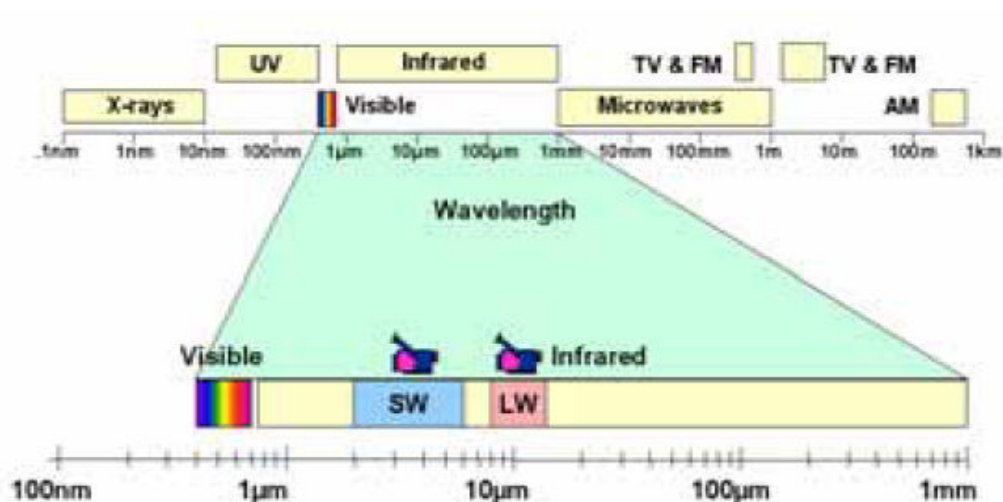
Základem bezkontaktního měření teploty je vyhodnocování tepelného záření, vysílané povrchem měřeného objektu, které vydává každé těleso s teplotou vyšší než 0 Kelvinů. Bezkontaktní měření teploty využívá infračervené části elektromagnetického spektra o velikosti vlnových délek od 0,75 μm až po 1mm.

Tato práce se bude dále zabývat systémem měření teploty na „ploše“, tzv. termografií, jako jednou z metod bezkontaktního měření teploty, aplikované v experimentální části této práce.

2.11 Teorie Termografie

2.11.1 Infračervené záření

Infračervené záření je neviditelná část elektromagnetického spektra projevující se tepelnými účinky. Jedná se o záření s vlnovou délkou v intervalu přibližně $0,78\text{ }\mu\text{m}$ až 1 mm , jenž se nachází nad viditelným zářením, který odpovídá spektrální citlivosti lidského oka, nacházející se v rozsahu vlnových délek cca $0,38$ až $0,78\text{ }\mu\text{m}$ (viz obr. 27), [13].



Obr.27 Elektromagnetické spektrum dle [13]

IČ záření generuje veškerá hmota, jejíž teplota je vyšší než absolutní nula (0 K). Zdrojem tepla je tedy každý objekt s teplotou vyšší než 0 Kelvinů, což jsou všechny objekty kolem nás. Při teplotách nižších než 500 až $560\text{ }^{\circ}\text{C}$ září tělesa v oblasti infračervené, při teplotách vyšších vydávají i záření viditelné.

Infračervená oblast elektromagnetického spektra jak nám ukazuje obrázek 27 se dále rozděluje na následující části, [13]:

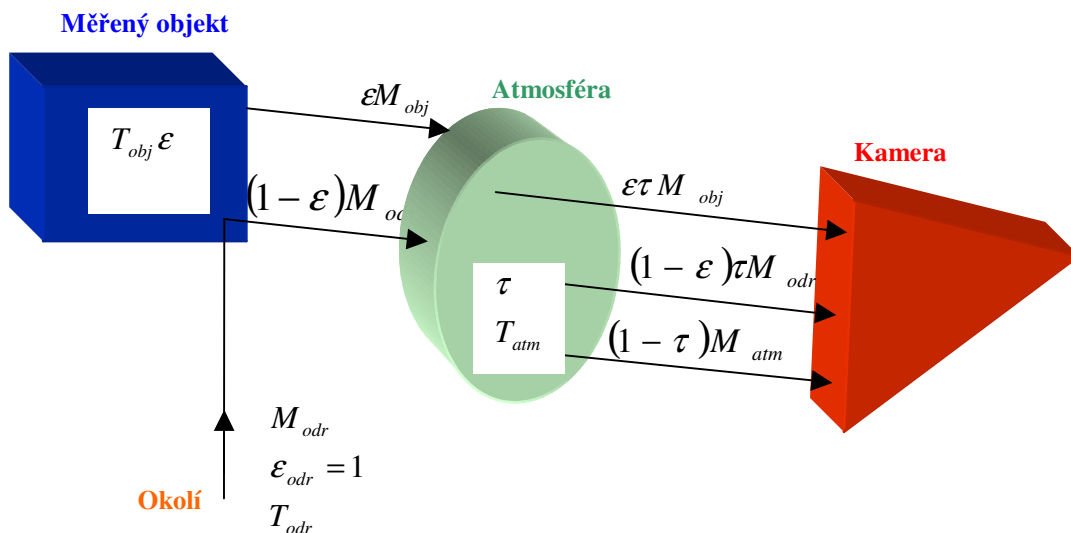
- blízkou infraoblast: $0,75\text{ }\mu\text{m}$ až $2\text{ }\mu\text{m}$ NWIR (NearWave Infra-Red)
- krátkovlnnou oblast: $2\text{ }\mu\text{m}$ až $3\text{ }\mu\text{m}$ MWIR (ShortWave Infra-Red)
- střední infraoblast: $3\text{ }\mu\text{m}$ až $5\text{ }\mu\text{m}$ MWIR (MiddleWave Infra-Red)
- vzdálenou infraoblast: $5\text{ }\mu\text{m}$ až $15\text{ }\mu\text{m}$ LWIR (LongWave Infra-Red)
- velmi vzdálenou infraoblast 15 až 1 mm VLWIR (VeryLongWave Infra-Red)

2.11.2 Základní princip termografie

Úkolem termografie je v podstatě detekce zářivé energie vyzařované z měřeného objektu, která reprezentuje teploty (teplotní pole) většinou na jeho povrchu a dále umožňuje zobrazení a kvantifikaci (vyhodnocení) teplotních polí, [13].

Přenos vyzařované energie mezi měřeným objektem, měřícím systémem a okolím je schematicky vyznačen měřícím řetězcem (viz obr.28), jenž se skládá z:

- Okolí (pozadí) měřeného objektu
- Vlastního měřeného objektu
- Atmosféry mezi měřeným objektem a měřícím systémem
- Měřícího systému (termovizní kamery)



Obr.28 Schématické znázornění přenosu zářivé energie mezi objektem, okolím a detektorem - základní měřící řetězec

Do měřícího systému (termovizní kamery) vstupují tři zářivé toky, jejichž součtem je možné vyjádřit celkovou energii přijatého záření, [13]:

- Záření od měřeného objektu M_{obj} , jehož intenzita je přímo úměrná emisivitě ϵ , které při průchodu atmosférou se součinitelem propustnosti τ má výslednou hodnotu $M_{obj} = \epsilon \cdot \tau \cdot \sigma \cdot T_{obj}^4$
- Záření odražející M_{odr} se od povrchu měřeného objektu nazývané odražená zdánlivá teplota, definovaná $M_{odr} = (1 - \epsilon) \cdot \tau \cdot \sigma \cdot T_{okolí}^4$
- Záření atmosféry M_{atm} , definované $M_{atm} = (1 - \tau) \sigma \cdot T_{atm}^4$.

2.12 Infračervená termografie

Pojem termografie zahrnuje metody pro zobrazování teplotních polí na povrchu snímaných těles (rozložení povrchových teplot), která je reprezentováno energií a hustotou fotonů emitovaných z povrchu snímaného tělesa a jeho vyhodnocením.

Infračervená termografie je i názvem pro techniku, která je obecně určitým transformačním systémem, jehož pomocí je možné zobrazit pro lidské oko neviditelné IČ záření vyzařované z objektů a to v závislosti na jejich tepelných stavech. Velice efektivním nástrojem nekontaktní IČ termografie je technika zvaná *termovize*, obecně infratechnika.

Typický termografický systém – termovize se podobá videokameře, který na rozdíl od videokamery, zobrazuje tepelné vyzařování objektu(-ů) většinou ve standardní televizní obrazové frekvenci. Termovizi je také možno popsat jako zobrazovací systém transformující informaci o rozložení teploty na povrchu snímaného objektu v infračerveném spektru, na obraz viditelný lidským okem.

Více sofistikované IČ kamery potom mohou nejen zobrazovat teplotní pole objektů (většinou jejich povrchů), ale umožňují také tato pole vyhodnocovat, a to v teplotním rozsahu od -40°C až do $+2000^{\circ}\text{C}$ s obrazovou frekvencí až 50 Hz. Vlastní zobrazení teplotního pole, tzv. **termogram**, který je výsledným „produktem“ IČ zobrazovacího systému, může být buďto černobílé nebo (pseudo) barevné (viz obr.29). Ve skutečnosti jde o zobrazení distribuce fotonového toku *na* nebo *z* povrchu zaměřovaného objektu, který je pak v měřicím systému (termovizní kamera) kvantifikován na teploty. [13]



Obr. 29 Příklady zobrazení IČ techniky: a) normální barevná fotografie b) černobílý termogram c) (pseudo) barevný termogram dle [35]

2.12.1 Rozdělení termografie

Termografii je možné rozdělit na:

- *Pasivní termografii*
- *Aktivní termografii*

2.12.1.1 Pasivní termografie

Pasivní termografie je zobrazování teplotních polí povrchů elektrických nebo mechanických objektů, jejichž činnost je spojena s vývinem nebo absorpcí tepla během provozu, [7]. Na termogramu lze pak například zjistit opotřebení mechanického prvku.

Hodnotící veličinou jsou teplotní rozdíly ve vybraných místech na povrchu objektu, mezi teplotami změřenými a teplotami přípustnými, [7]. Během měření pomocí programového vybavení termovizních kamer je možné:

- vyhodnocení teploty v libovolném bodě obrazu,
- vyhodnocení střední a maximální teploty a vykreslení teplotního profilu ve zvolené oblasti obrazu,
- zobrazení volitelně barevné izotermy,
- korigovat vliv emisivity objektu,
- korigovat prostupnost prostředí mezi kamerou a objektem,
- korigovat vliv teploty okolí aj..

Nevýhodou pasivních metod je možnost chybného vyhodnocení termogramu vlivem prvků způsobených prostředím, turbulencí vzduchu, nehomogenních hodnot emisivity aj., [7].

2.12.1.2 Aktivní termografie

Aktivní termografie je založena na řízené simulaci tepelné vlny v tělese, následném snímání rozložení teploty termografickou kamerou na povrchu tělesa a analýzou signálu. Defekty v podpovrchové vrstvě se projeví diferencemi v rozložení povrchové teploty. Zdrojem tepla, který je nejčastěji umístěn vně tělesa, je halogenová lampa, pulzní laser, výkonový blesk, xenonová výbojka nebo teplý proudící vzduch, [7].

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část diplomové práce je zaměřena na dvě důležité oblasti:

1. Navržení a realizace experimentu, sledování přetrhu plošné textilie a jevů při jejím přetrhu s využitím dynamometru a termovize FLIR.
2. Vyhodnocení experimentu a navržení možností pro další výzkum v této oblasti.

Cílem diplomové práce je ověřit pomocí termovize rozložení napětí a teploty v měřené textilií při jejím jednorázovém tahovém namáhání v závislosti na:

- plošné hmotnosti tkaniny a jemnosti osnovních a útkových nití
- pevnosti a tažnosti tkaniny
- anizotropii tkanin

Před laboratorním měřením vyslovujeme následující hypotézu: „Při tahovém zatížení dochází k disipaci mechanické energie v tepelnou a ta pak v zářivou. Daný materiál se zahřívá. Pomocí teplotních polí zobrazeném termovizní kamerou je možno zjistit, jaké je teplotní rozložení v plošné textilií, jak rychle se měřený objekt zahřívá a ochlazuje a určit místo s maximální teplotou.“

Pro experiment byla vybrána tkanina, jako jedna ze základních typů z celého souboru plošných textilií. Měření tkaniny stejného materiálového složení o různých plošných hmotnostech, bylo provedeno v následujících krocích:

1. Stanovení postupu měření pomocí počátečního zkušebního experimentu.
2. Makroskopický pohled na měřenou textilií a vytvořenou trhlinu pomocí obrazové analýzy LUCIA *před přetrhem tkaniny*.
3. Jednorázový přetrh textilií prostřednictvím trhacího přístroje Labtest s použitím termovizní kamery firmy FLIR.

3.1 Charakteristika použitých materiálů

V prvním experimentálním měření byly použity tkaniny vykazující především z počátku lineární chování při tahovém namáhání, a to tkaniny vyrobené z přírodních vláken ze 100% bavlny, keprové vazby o různých plošných hmotnostech. Tyto textilie z přírodního materiálu se však pro studium vzniku tepla, jeho šíření a zániku ukázaly jako méně vhodné z důvodu jejich nízké tažnosti.

Z výše uvedeného důvodu bylo rozhodnuto pro experiment použít tkaniny o vyšších tažnostech, vyrobené z chemických vláken syntetických polymerů, jako je polyester, polyamid či polyethylen, u kterých během jejich namáhání tahem dochází k dotvoření struktury a zvýšení pevnosti.

Pro konečné měření, studium a vyhodnocení byly použity režné tkaniny plátnové vazby, vyrobené z polyesteru a polyamidu 6.6 o různých plošných hmotnostech. Tyto tkaniny byly dodány společností Silk & Progress, s.r.o. v Moravské Chrástové v České Republice, která se zabývá výrobou technických textilií.

Pro studijní účely byly použity následující vzorky tkanin:

- tři vzorky tkanin ze 100% polyesteru, zn. PES o plošných hmotnostech 22g/m^2 ; 35g/m^2 a 82g/m^2 ,
- jeden vzorek tkaniny ze 100% polyamidu 6.6, zn. PA 6.6 o plošné hmotnosti 240g/m^2 .

Plátnová vazba je nejjednodušší a nejpoužívanější vazba. Je nejlepším a nejčastějším východiskem k popisu chování tkanin a proto byla také zvolena pro tento experiment. Vyznačuje se *pravidelným* střídáním osnovních a útkových vazných bodů ve vodorovném i svislém směru v poměru 1:1 což znamená, že stupeň provázání tkaniny je roven jedné. Střídu vazby tvoří dvě nitě osnovní a dvě nitě útkové, z čehož vyplývá, že v této střídě jsou 2 x 2 vazné body. Hovoříme tedy o vazbě oboustranné.

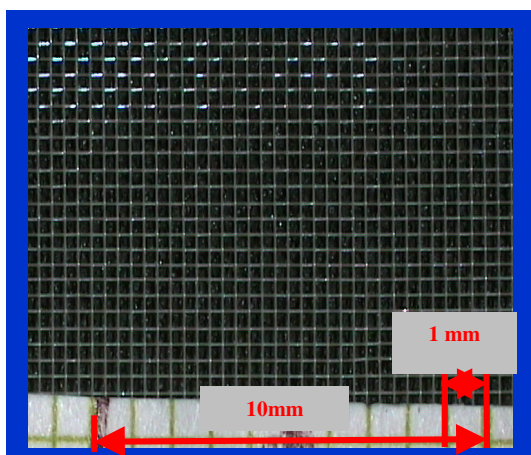
Plátnová vazba je charakterizována nulovým počtem neprovazujících, volně ležících úseků nití ve vazbě tkaniny, tzv. *nulovou flotází*. Díky tomu má plátnová vazba nejnižší dostavu v porovnání s neplátnovými vazbami.

3.1.1 Rozbor měřených materiálů

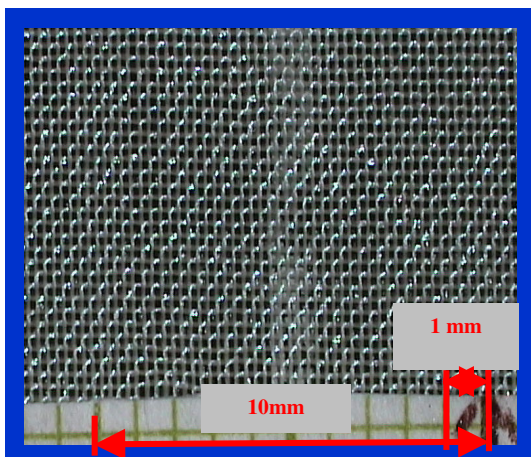
Parametry měřených materiálů uvedené v tabulce 2 byly poskytnuty společností Silk & Progress, s.r.o., která tyto textilie vyrábí. Experimentálně pomocí obrazové analýzy byl potvrzen parametr udávající počet osnovních a útkových nití na jeden centimetr, tzv. *dostava* a *vazba*. Označení vzorku je jeho obchodním názvem, s kterým jsou spojena veškerá měření a hodnocení.

Tab. 2 Rozbor měřených materiálů

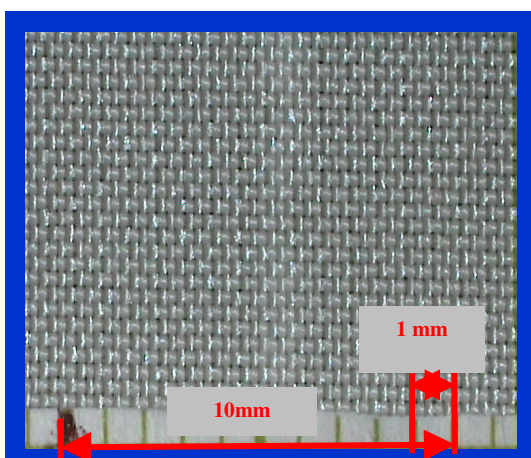
Rozbor měřených tkanin				
Označení vzorku		Ulester 32 S	Uzel 43 S	Unovas
Typ textilie		Technická tkanina	Technická tkanina	Technická tkanina
Použití textilie		Speciální technická síta	Technické PES tkaniny	Převleky proti dešti
Vazba		Plátnová	Plátnová	Plátnová
Materiál	osnova	100% polyester	100% polyester	100% polyester
	útek	100% polyester	100% polyester	100% polyester
Dostava [nití.cm ⁻¹]	osnova	32	43	43
	útek	35	41	35
Plošná hmotnost [g.m ⁻²]		22	35	82
Tloušťka v [μm]		9,5	8,49	12,23
Typ délkové textilie v osnově a útku		Monofil	Skaná příze	Skaná příze
Jemnost osnovy a útku [dtex]		33	33	78/110
Počet kapilár ve vlákne (monofilů) v osnově/ útku		1	18	24/36

Ulester 32 S ze 100% polyesteru o plošné hmotnosti 22g/m²

Měřený vzorek
Ulester 32 S - 100%
PES 22g/m²

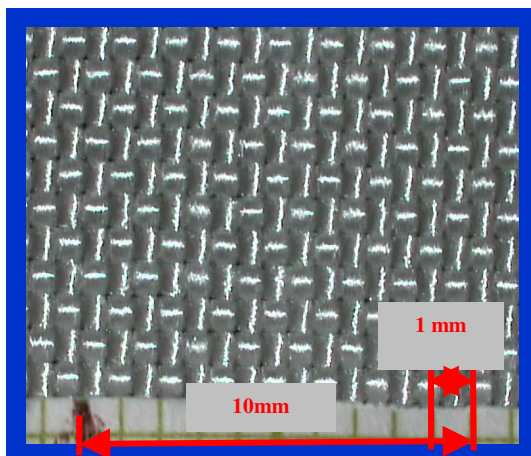
Uzel 43S ze 100% polyesteru o plošné hmotnosti 35g/m²

Měřený vzorek
Uzel 43S - 100% PES
35g/m²

Unovas ze 100% polyesteru o plošné hmotnosti 82g/m²

Měřený vzorek
Unovas - 100% PES
82g/m²

Upana ze 100% polyamidu 6.6 o plošné hmotnosti 240 g/m²



Měřený vzorek
Upana - 100% PA 6.6
240g/m²

Tab.3 Rozbor měřených materiálů

Rozbor měřeného materiálu		
Označení vzorku		Upana
Typ textilie		Technická tkanina
Použití textilie		Batohovina a plachtovina
Vazba		plátňová
Materiál	osnova	100% polyamid 6.6
	útek	100% polyamid 6.6
Dostava [nití.cm ⁻¹]	osnova	15
	útek	15
Plošná hmotnost [g.m ⁻²]		240
Tloušťka v [μm]		36,7
Typ délkové textilie v osnově a útku		Skaná příze
Jemnost osnovy a útku [dtex]		700
Počet kapilár ve vlákne (niti) v osnově a útku		105

3.2 Použité měřicí přístroje a jejich specifikace

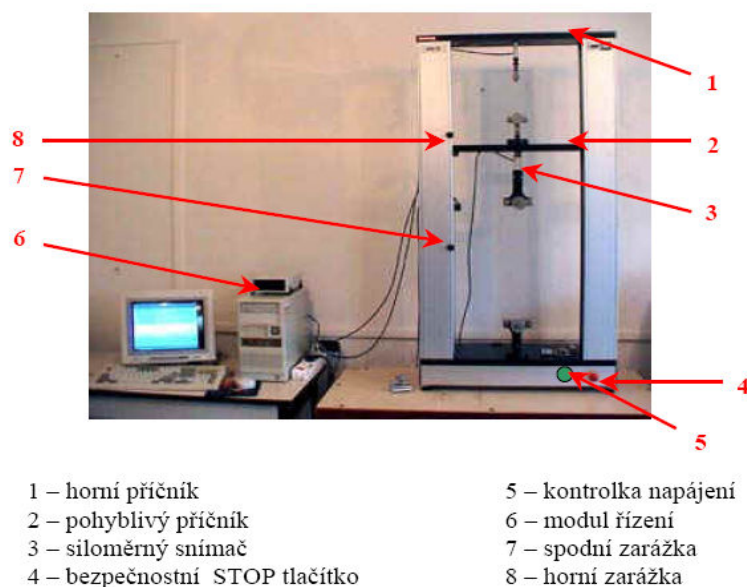
Pro nastudování dějů, vznikajících při přetrhu textilie pomocí termovize byly použity následující měřicí zařízení:

1. *Přístroj na měření pevnosti a tažnosti*
2. *Přístroj na měření povrchové teploty*
3. *Přístroj na určení struktury povrchu*

3.2.1 Přístroj na měření pevnosti a tažnosti

3.2.1.1 Trhací přístroj Labtest 2.05 a jeho popis

Pro měření pevnosti a tažnosti plošných textilií bylo použito Trhacího přístroje Labtest. Trhací přístroj LabTest 2.05 (viz obr.30) je stroj pro měření pevnosti a tažnosti plošných a délkových textilií a vlastnosti švů oděvních výrobků.

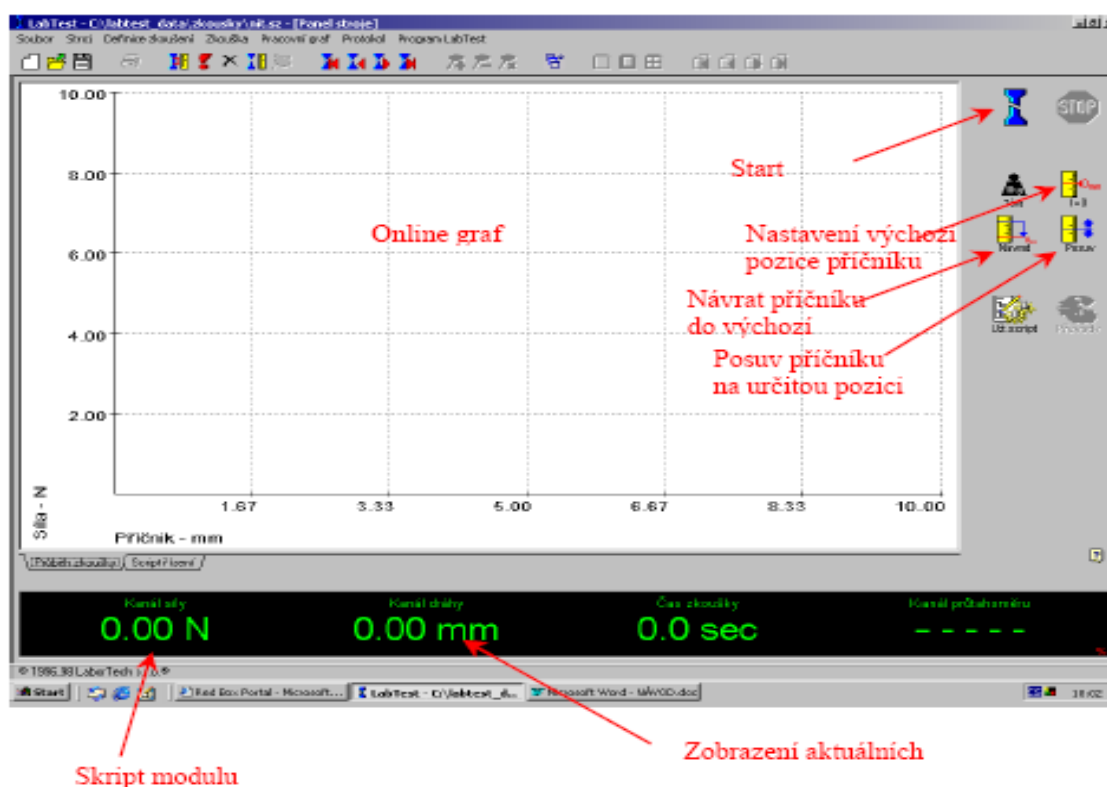


Obr. 30 Trhací přístroj Labtest

Na obrázku 30 vidíme pohyblivý příčník 2 rozdělující rám stroje na dva pracovní prostory – horní a spodní. Siloměrný snímač 3 umístěný na horním pevném příčníku 1 má jmenovité zatížení tah/tlak do 100N a siloměrný snímač umístěný na dolním pohyblivém příčníku 2 má jmenovité zatížení tah/tlak do 2500N. Na předním panelu stroje je umístěno bezpečnostní STOP tlačítko 4 a kontrolka napájení 5. Na zadním panelu stroje je umístěn hlavní vypínač, pojistkový držák a konektor síťového napájení.

3.2.1.2 Program Labtest

Pomocí programu Labtest (viz obr.31) se provádí ovládání trhacího stroje stejného označení. V programu je důležité před započítím měření vytvořit požadovanou definici zkoušení, která určuje jakým způsobem bude zkouška probíhat a jaké výpočty se nad naměřenými daty provedou. Naměřená data je možné uložit pod formátem .txt, aby je bylo možno dále zpracovávat ve statistickém programu (tabulkovém procesoru) Excel.



Obr. 31 Příklad obrazovky programu Labtest a popis některých funkcí

3.2.2 Přístroj na bezkontaktní měření povrchové teploty

3.2.2.1 Infračervená kamera ThermoCAMTM S60

Ke studium dějů při tahovém zatížení měřených tkanin byla použita infračervená kamera (neboli termovize S60) ThermoCAMTM S60 od společnosti FLIR (viz obr.32). Jde o zobrazovací systém transformující informaci o rozložení teploty na povrchu snímaného objektu v infračerveném spektru na obraz viditelný lidským okem.

Infračervená kamera měří a zobrazuje objektem vyzařované infračervené záření. Skutečnost, že záření závisí na povrchové teplotě objektu, umožňuje kameře tuto teplotu vypočítat a zobrazit. Avšak radiace měřená kamerou *nezávisí pouze na teplotě objektu, ale také na emisivitě a odraženém záření od okolních předmětů*. Záření objektu a odražené záření jsou rovněž ovlivněny pohlcováním při průchodu atmosférou. K přesnému měření teploty je proto nutné kompenzovat účinky různých zdrojů radiace, a to kamera provádí automaticky za provozu. Do kamery je však nutné zadat parametry jako je emisivita objektu, odražená teplota, vzdálenost mezi objektem a kamerou a relativní vlhkost.

V tomto experimentu bylo použito termovize S60 bez dálkového ovládání s integrovaným LCD displejem. Všechny řídicí funkce termovize byly ovládány konečky prstů pomocí několika ovládacích tlačítek, která jsou na kameře výhodně umístěny.



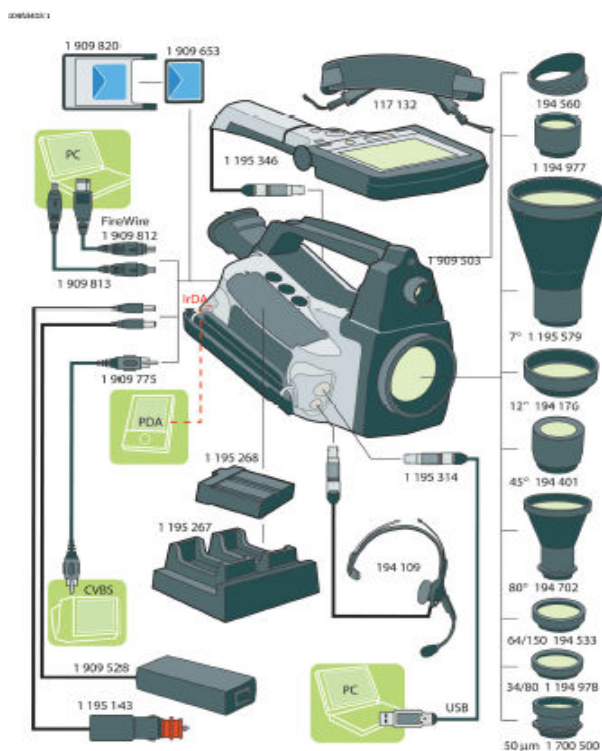
Obr. 32 Infračervená kamera S 60

Chceme-li měřený objekt uchovávat do paměti kamery máme dvě možnosti:

1. ukládat na odnímatelnou kartu Compact Flash,
2. ukládat do vnitřní paměti Flash.

Připojení termovize k počítači je možno realizovat pomocí několika způsobů. Lze použít klasické připojení přes USB, nebo lze využít rychlejší způsob díky FireWiru. Díky přidanému softwaru je termovize po připojení v systému Windows identifikována jako další disketová jednotka.

Infračervený zobrazovací systém ThermoCAM S60 (viz obr.33) obsahuje infračervenou kameru s vestavěným objektivem 24°, vizuální digitální kamerou, laserové ukazovátko (sloužící k přesné identifikaci polohy měřeného místa). Dále kamera obsahuje IrDA (infračervené komunikační zařízení, které umožňuje bezdrátové spojení), barevný 4 palcový displej LCD na odnímatelném dálkovém ovládání a příslušenství (baterie, adaptér, 4" LCD/dálkové ovládání, nabíječ baterie, karta CompactFlash, kabel FireWire 4/4, kabel FireWire 4/6, sluchátka s mikrofonom, krytka objektivu, síťový napáječ, ramenní popruh, kabel USB, videoobjektiv 12°, video lampa).



Obr. 33 Přehled systému infračervené kamery

3.2.2.1 Technické parametry infračervené kamery ThermaCAMTM S60

Technické parametry infračervené kamery ThermaCAMTM S60 jsou uvedeny v tabulce 4.

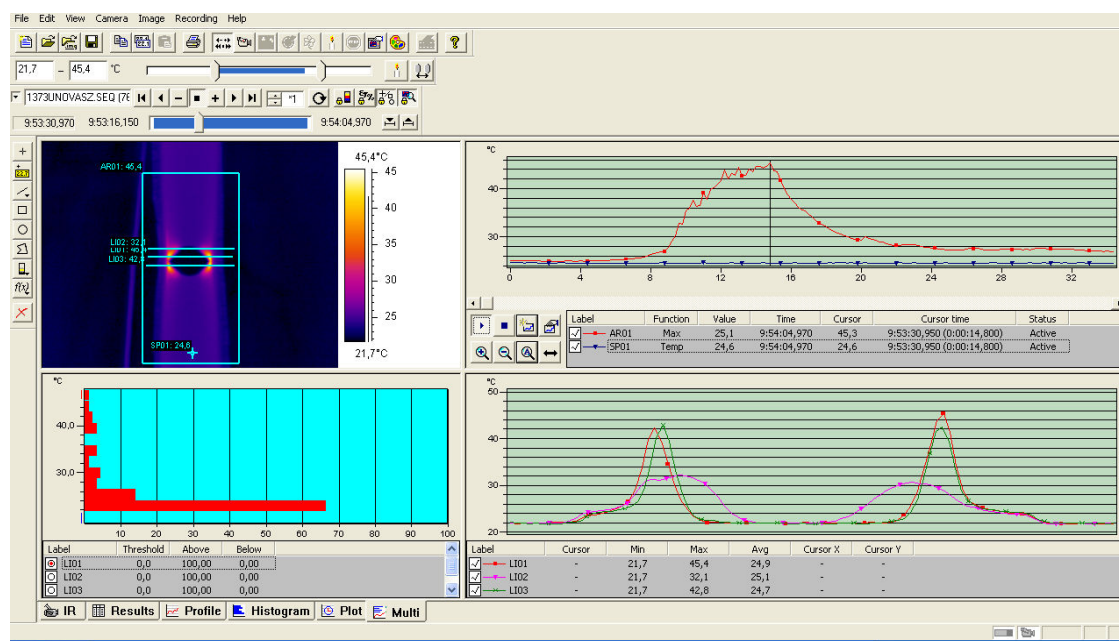
Tab. 4 Technické parametry infračervené kamery ThermaCAMTM S60

Technické parametry infračervené kamery ThermaCAMTM S60	
Detektor:	FPA (focal plane array), mozaikový nechlazený mikrobolometr
Spektrální rozsah:	7,5 – 13 μm
Zorné pole/minimální ohnisková vzdálenost:	24° x 18° / 0,3 m
Prostorové rozlišení:	1,3 mrad
Frekvence zobrazení:	50/60 Hz, neprokládané
Funkce elektronického zoomu:	2x, 4x, 8x – interpolace
Vestavěná digitální kamera:	680 x 480 pixelů, barevná
Teplotní rozsah, standardní:	- 40 až 120 °C - standart
	-10 až 55 °C - standart
	0 až 500 °C - standart
	+350 až 1500 °C rozšíření příslušenství pro katedru oděvnictví v Liberci
Přesnost:	± 2 °C nebo ± 2 %
	z absolutní hodnoty teploty ve °C
Rozsah pracovních teplot:	-15 až 50°C
Rozsah skladovacích teplot:	- 40 až 70 °C
Hmotnost:	2,0 kg (vč. baterie a dálkového ovládání)
Rozhraní počítače:	USB Rev 2.0 (plná rychlost) RS -232 (volitelné) FireWire (IEEE 1394a, 100/200/400 Mb/s)
Rozměry (délka x šířka x výška):	234 x 124 x 161 mm

Dalšími funkcemi infračervené kamery jsou automatické nebo ruční zaostřování, nastavitelná digitální redukce šumu, korekce emisivity, korekce propustnosti atmosféry, korekce propustnosti objektivu, korekce odražené teploty okolí a korekce externího okna (skládá se ze dvou parametrů, a to propustnosti a teploty).

3.2.2.2 ThermoCAMTM Researcher Professional 2.8

Pro vyhodnocování naměřených dat byl použit software ThermoCAMTM Researcher Professional 2.8. Tento software, umožňuje snadnou manipulaci s naměřenými hodnotami, ať už jsou jen ve formě obrázků nebo jednotlivých grafických sekvencí. Program dovoluje různé možnosti práce se záznamem, jako je opětovné přehrávání, vybrání určité části a její sledování po celou dobu sekvence.



Obr.34 Ukázka programu ThermoCAMTM Researcher Professional 2.8

Na obrázku 34 je ukázka použití výše jmenovaného programu. Pro ilustraci byl zvolen záběr jednoho z měření. Nahoře nalevo je na záběru vidět, jak čáry, resp. profily, na měřeném objektu ve zvolené oblasti, prochází přes různé teplotní pole. Napravo od měřeného objektu je vidět stupnici teploty, kterou lze podle potřeby měnit, nebo pro ní stanovit pevné hodnoty. Dole vlevo se nachází histogram, který udává procentuální zastoupení jednotlivých teplot vybraného teplotního profilu. Napravo od histogramu je graf, který nám ukazuje, jak se mění teplota zvolených profilů v určitých místech a nahoře napravo je možno vidět křivku maximální teploty ve zvolené oblasti a křivku zvoleného bodu v celém průběhu záznamu. Na horní liště je vidět klasické rozmístění ovládacích prvků, které je stejné jako se používá u obdobných programů pracujících s daty.

3.2.3 Přístroj na určení struktury povrchu materiálu

Částečné určení struktury povrchu materiálu pomocí obrazové analýzy LUCIA je zařazeno pouze jako doplňující měření v rámci celého experimentu. Prostřednictvím makroskopu, jenž je součástí programového systému LUCIA, byly pořízeny barevné obrazy měřených plošných textilií (viz příloha A), které nám umožnili pomocí přiloženého milimetrového měřítka objektivně pozorovat dostavu a vazbu plošné textilie. Subjektivně pak pozorovat vzájemný kontakt osnovních a útkových nití, hustotu provázání, stejnoměrnost tkaniny a odrazivost dopadajícího světla. V trhlíně, případně blízko trhliny pak chování nití se zákrutem a bez zákrutu, velikost deformace sítě, skládající se z osnovních a útkových nití a jejich vzájemnou soudružnost ve vazných bodech. Pořízené obrazy byly pro další zpracování uloženy ve formátu .JPEG a jsou součástí příloh a také kapitoly 3.1.1.

3.2.3.1 Makroskop se SW Lucia G 4.82

Lucia G 4.82 je programový systém vyvinutý pro pořizování, ukládání obrazů a interaktivní měření geometrických vlastností vláken, přízí a plošných textilií nebo jiných netextilních materiálů. Systém umožňuje archivování rozsáhlých obrazových sekvencí a jejich zpracování. Do základního přístrojového a programového vybavení systému obrazové analýzy (viz obr.35) řadíme počítač se softwarem Lucia, televizní kameru (aktivní systém) stolní anebo příruční skener, digitální fotografická kamera s nezávislým přenosem obrazu na pevný disk.



Obr. 35 Pracoviště obrazové analýzy

3.3 Stanovení postupu měření

Předpoklad: Počátek destrukce plošné textilie, která je namáhána tahovou silou se nachází v nejslabším bodě tkaniny.

Na základě teorie nejslabšího článku řetězce a výše uvedeného předpokladu byl stanoven postup měření. Jelikož se všechny tkaniny subjektivně jeví pomocí makroskopu, jako poměrně stejnoměrné, bylo těžké jednoznačně určit pravděpodobný bod přetrhu. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k následujícímu kroku:

- ***Simulace nejslabšího bodu tkaniny***

Nejprve byl nejslabší bod měřené tkaniny (porušení její struktury) nasimulován pomocí ostrého hrotu nůžek o velikosti cca 5 mm jak ve směru osnovy, tak ve směru útku, a to ve střední části měřeného vzorku o celkovém rozměru 60 x 300 mm. Tento nejslabší bod označujeme dále jako ***trhlinu***, která nám umožní sledovat v jejím okolí vznik a změny teplot pomocí infračervené kamery.

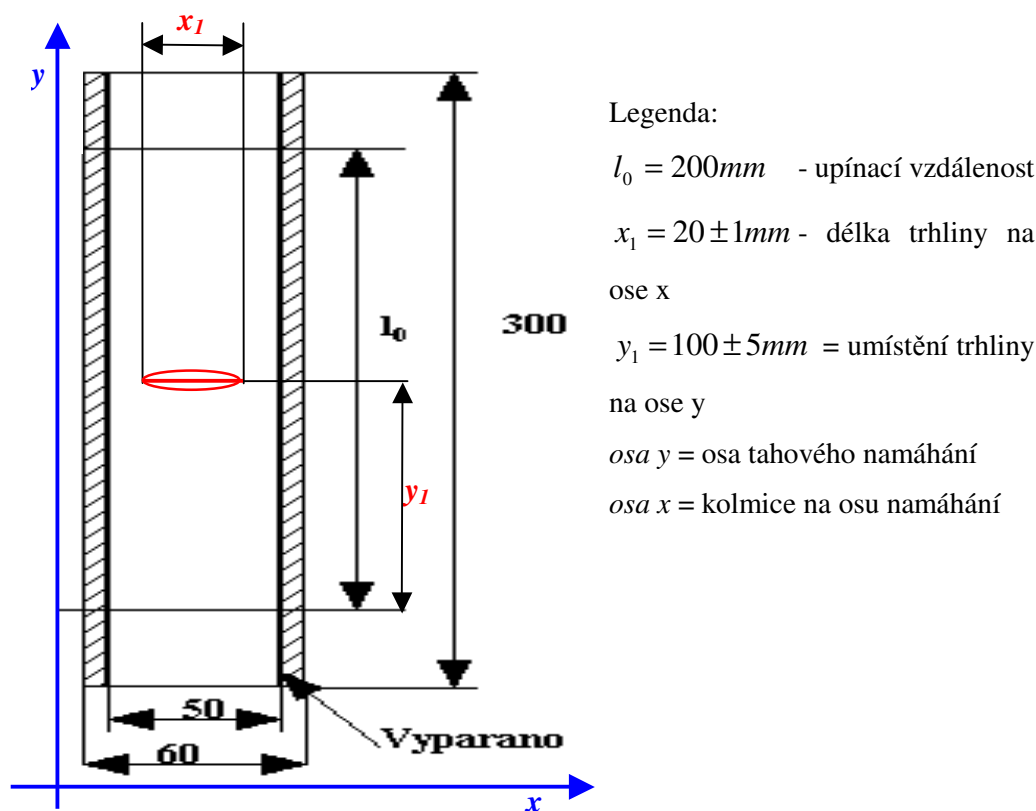
Po vytvoření trhliny byla sledována reakce plošné textilie na působení tahové síly pomocí termovizní kamery. Bylo však zjištěno, že se téměř všechny vzorky, jak s trhlinou, tak i bez trhliny přednostně trhají přímo v čelistech nebo do 5mm od čelistí (nikoliv v místě trhliny), případně z čelistí vykluzují i přes maximální mechanické dotažení šroubů na čelistech a vložení výplní z brusného papíru nebo pryže mezi čelisti a měřený vzorek. Pokud se nepoužije brusný papír, tkanina z čelistí vykluzuje i přes maximální dotažení šroubů na čelistech.

K přetrhu dochází buď v horních nebo dolních čelistech. Důvodem tak častého přetrhu zkušebních vzorků v čelistech jsou následující předpoklady:

- Nestejnoměrnost v upnutí zkušebních vzorků – mechanické (ruční) upnutí neumožňuje,
- Tlakové napětí v čelistech – působení brusného papíru na osnovní či útkové nitě s následným působením tahové síly způsobí přednostní destrukci v čelistech.

Docházíme k závěru, že velikost trhliny není dostatečně velká. Její délku stanovujeme na $20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ve středu zkušební vzorku na ose x . Osou x je kolmice na směr osy namáhání (viz obr.36) a osou namáhání je osa y . Na této ose y stanovujeme trhlínu v polovině délky l_0 , přičemž $l_0 = 100\text{ mm} \pm 3\text{ mm}$. Velikost trhliny byla odměřena pomocí milimetrového papíru a vytvořena mechanicky pomocí ostrého žiletkového nože.

Tyto zkušební vzorky se po upnutí do čelistí a spuštění trhacího zařízení, již přednostně porušovaly v krajních bodech trhliny. V této fázi bylo tedy možné připravit další zkušební vzorky a termovizní kameru, která je schopna v přesně definovaném místě trhliny určit vznik, šíření a zánik tepla.



Obr. 36 Tvar vzorku o velikosti $60 \times 300\text{ mm}$ pro zkoušení pevnosti tažnosti tkaniny s trhlínou v jeho střední části.

3.4 Postup měření

1. Příprava zkušebních vzorků

Vzorky tkanin pro experiment byly připraveny a zkoušeny dle normy ČSN EN ISO 13934-1, metody STRIP.

Vzhledem k tomu, že termovizní kamera je velmi přesná pro snímání infračerveného záření, byly z každé tkaniny vystříženy podél osnovy a podél útku po niti pouze tři (nikoliv pět, jak hovoří výše uvedená norma) zkušební vzorky o rozměrech 300 x 60 mm a pak vypárány na šíři 50 mm. Ve střední části vzorku pomocí ostrého žiletkového nože byla vytvořena trhlina, jejíž vytvoření je taktéž považováno za odchylku od normovaného měření. Každý vzorek byl pečlivě označen následujícími údaji:

- *Názvem tkaniny, např. Ulester, Unovas,*
- *Označením osnovy a útku, osnova = O, útek = U,*
- *Číslem měřeného vzorku,*
- *Šipkou ve směru osnovy a útku,*
- *Upínací délkou l_0 o velikosti 200 mm.*

2. Pořízení barevných obrazů struktury materiálů a trhlin

Obrazy trhlin (viz příloha A) byly pořízeny pomocí obrazové analýzy LUCIA makroskopem a uloženy pomocí softwaru stejného označení v obrazovém formátu. JPEG. Tento formát nám umožňuje pořízené obrazy pozorovat a hodnotit v běžně dostupném operačním systému Windows, a to především kvalitativně.

3. Nastavení parametrů trhacího přístroje Labtest 2.05

Před vlastním začátkem měření byla v programu Labtest vytvořena vlastní definice zkoušení (viz tab.5), která určuje, jakým způsobem bude zkouška probíhat a jaké výpočty se nad naměřenými daty provedou. Naměřená data byla uložena pod formátem .txt, aby je bylo možno dále zpracovávat ve statistickém programu (tabulkovém procesoru) Excel.

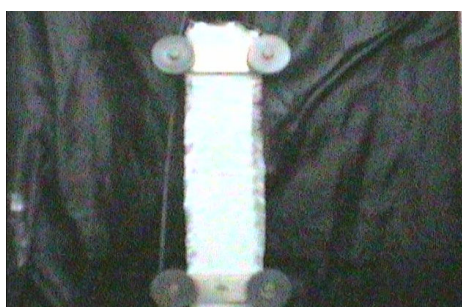
Pro výhodnější porovnání vzniku tepla a jeho šíření ve zkušebním vzorku textilního materiálu byly na trhacím zařízení Labtest 2.05 nastaveny shodné parametry pro všechny zkoušené tkaniny. Nastavení parametrů a jejich hodnot v programu Labtest je uvedeno v následující tabulce .

Tab. 5 Definice zkoušení v programu Labtest

Definice zkoušení v programu Labtest dle normy ČSN EN ISO 13934-1, metody STRIP			
Parametry	Hodnota	Poznámka č. 1	Poznámka č.2
Upínací délka	$200 \pm 1 \text{ mm}$	Pro textilie s tažností $\epsilon_{\max} \leq 75\%$	
Rychlost posuvu příčnicku = rychlost prodloužení	100 mm/min	Nastaveno ve vztahu k tažnosti	Konstantní rychlost posuvu příčnicku.
Upnutí s předpětím	2 N	Stanoveno pro všechny měřené textilie o plošné hmotnosti $\leq 200 \text{ g/m}^2$, tak nad $\geq 200 \text{ g/m}^2$.	Pro „Upana“ (PA 6.6) bereme jako odchylku od normovaného měření. Funkce předpětí eliminuje deformaci vzniklou na zkušebním stroji do chvíle, než dojde k reálnému nárůstu síly na zkušebním vzorku.
Přesnost prodloužení	1 mm	Při tažnosti $\geq 8\% \text{ až } \leq 75\%$	

4. Upnutí zkušebního vzorku do čelistí trhačního stroje a eliminace okolního záření

Po nastavení výše uvedených hodnot v programu Labtest se měřená tkanina



Obr.37 Příklad upnutí
měřeného vzorku a zobrazení
mokré tkaniny za objektem.

(dále objekt) ručně upnula do horních a spodních čelistí trhačního zařízení Labtest. Po té byla na rám trhačního stroje připevněna za měřený objekt mokrá tkanina černé barvy (viz obr. 37), a to z důvodu odstínění pozadí objektu a eliminace okolního záření, odražené z rámu trhačního stroje. Po určitém čase dochází k vysychání tkaniny a je nutné ji opět namočit.

5. Upevnění kamery na stativ

Kamera byla upevněna na stativ, nastavena do požadovaného úhlu a vhodné vzdálenosti od tkaniny, tak aby se v jejím zorném poli zobrazovala sledovaná tkanina.

Sledování tkaniny s trhlinou bylo provedeno ve dvou krocích. V prvním kroku byla pozorována celá plocha tkaniny při přetrhu. V druhém kroku byla kamera zaměřena pomocí čtyřnásobného přiblížení (zoomu) na trhlinu a její okolí.

6. Změření teploty a relativní vlhkosti v místnosti

Termočlánkem byla změřena relativní vlhkost vzduchu a teplota okolí. Tyto dvě hodnoty spolu s dalšími parametry měření (viz tab. 6) byly po experimentu pro kvantitativní vyhodnocení měření zadány v softwaru ThermaCAM Researcher Professional 2.8.

Tab. 6 Parametry měření

Parametry měření	
Předmět	Hodnota
Měřený objekt	Ulester 32 S, Uzel 43 S, Unovas, Upana
Datum měření	18.7.2007
Emisivita nastavená na kameře	0,96
Teplota okolí	20 ± 1 °C
Transmise	1
Relativní vlhkost v místnosti	44%
Vzdálenost mezi objektem a kamerou	0,5 m
Úhel snímání	90°
Osvětlení místnosti	Zatmění místnosti
Počasí	Polojasno
Odraz	Od čelistí a rámu trhačského stroje
Parametry snímání	Hodnota
Frekvence	50 Hz
Délka nahrávání	Do úplné destrukce objektu

6. Zahájení samotného měření.

Zaostření kamery na objekt s neznámou emisivitou. Spuštění chodu trhačského zařízení pomocí ikony START přes panel stroje v programu Labtest. Se spuštěním trhačského zařízení se současně na hlasový povel spustí kamera, která zaznamená průběh působení tahové síly a destrukci měřeného objektu. Po destrukci objektu se naměřená data uloží a výše uvedený postup se opakuje se stejnými parametry. Je možno přistoupit ke zpracování naměřených dat.

3.5 Zpracování naměřených dat pomocí ThermaCAMTM

Před zpracováním naměřených dat je potřeba uvést, že při jednoosém tahovém namáhání tkaniny dochází k vývinu a absorpci tepla, které se dále přeměňuje na tepelné záření, jež termovizní kamera zachytí a vyhodnotí. Ovšem kromě záření od tkaniny kamera zabírá také záření z okolních zdrojů (jako jsou například upínací čelisti a rám stroje, vyrobené z materiálu s vysokou odrazivostí), tak transparentní zářivý tok (z objektu umístěného za měřenou tkaninou), který se změnou struktury tkaniny při tahovém namáhání jí prochází a vstupuje do měřicího systému. Tato záření mohou být zeslabována atmosférou mezi objektem a kamerou. Pro toto měření, však předpokládáme, že můžeme zeslabení atmosférou a její samotné záření zanedbat z důvodu krátké měřicí cesty a nízké relativní vlhkosti v místnosti.

Dále je potřeba také uvést, že pro celkové vyhodnocení tepelného záření z tkaniny je potřeba zohlednit skutečnost, že patří mezi materiály polopropustné pro infračervené (tepelné) záření. Problematiku polopropustného materiálu můžeme popsat následovně: „Tepelná aktivita, která je vybuzena vnitřním třením struktury se projevuje na povrchu textilie tepelným zářením. Toto záření musí z hmoty tkaniny projít až na její povrch, tzn. skrze materiál tkaniny, ve kterém je částečně pohlcována. Navíc je část záření, které se dostane na povrch, odraženo zpět do tkaniny. Odražené záření je opět částečně pohlcováno, přičemž část, která se dostane až k povrchu, se ve větší míře vyzáří a část se odrazí zpět do tkaniny. Přestože je postupné odrážení do nitra textilie stále slabší a slabší, musí se vzájemně sečíst, aby bylo možné stanovit výsledné vyzařování tkaniny. Po sečtení výsledné geometrické řady získáme potom pro určení výsledné emisivity tento vztah“:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{(1 - \rho_{\lambda})(1 - \tau)}{(1 - \rho_{\lambda}\tau)} [1] \quad (3.5.1)$$

Z výše uvedeného vyplývá, že se tento případ pro kvantitativní vyhodnocení stává velice složitým problémem. Z tohoto důvodu jsou naměřená data vyhodnocena především kvalitativně. O kvantitativní vyhodnocení se pokusíme u jednoho reprezentativního vzorku tkaniny, a to v kapitole 3.7. pokud budeme předpokládat, že tkanina je materiálem nepropustným. Pak se rovnice (3.5.1) zjednoduší takto: $\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda}$. Tento vztah je vhodný, protože v řadě případů je mnohem jednodušší změřit odrazivost než emisivitu.

3.6 Kvalitativní vyhodnocení naměřených dat srovnáním

O kvalitativním vyhodnocení naměřených dat srovnáním, hovoříme jako o jedné z termografických technik, kde není nutné použít žádné korekční činitele pro atmosféru a obklopující okolí nebo emisivitu povrchu. Touto technikou porovnáváme teplotní mapy nebo teplotní profily jednoho komponentu se stejným nebo podobným komponentem pracujícím za stejných nebo podobných podmínek. Při prozkoumávání rozdílných teplotních polí nebo profilů je definujeme podle intenzity změn mezi dvěmi nebo více podobnými objekty a to bez vyhodnocování hodnot teplot, [13]. Hodnotíme pouze teplotní změny a jejich průběh pomocí obrazových a grafických výstupů softwaru ThermaCAMTM Researcher Professional 2.8. Naměřená data pak vyhodnocujeme podle:

A. Klíčových teplotních změn v průběhu namáhání, na:

- Fázi počáteční destrukce měřeného vzorku,
- Fázi s maximální teplotou vůči konstantní teplotě měřeného vzorku,
- Fázi úplné destrukce měřeného vzorku.

B. Fyzikální struktury, dle:

- Plošné hmotnosti tkaniny,
- Anizotropie tkaniny,
- Délkového prodloužení a působící síly.

Vznik, šíření a zánik tepelného záření jsme sledovali pomocí vybraných ploch AR01, AR02 a AR03 na ploše záznamu. Výstupem z těchto oblastí jsou křivky s maximální teplotou. Dosažené maxima teplot v oblastech AR01, AR02 a AR03 jsme porovnali vůči konstantní teplotě zvoleného bodu SP01, který jsme umístili do místa pod trhlinou. Trendová křivka tohoto bodu je téměř rovnoběžná s časovou osou. V oblasti úplné destrukce pravé nebo levé strany jsme zvolili teplotní profil L01, který nám graficky dokazuje okamžitý pokles teploty.

Plochu AR01 považujeme, za hlavní oblast vzniku, šíření a zániku záření v měřeném vzorku. Výstupem je trendová křivka vyjadřující průběh maximálních teplot v čase. Plochy AR02 a AR03 jsou umístěny do oblastí, kde vzniká největší tepelné záření a to na levou a pravou stranu od místa trhliny. Potvrzují nám místo výskytu s maximální teplotou v daném čase vůči ploše AR01. Umožňují také posoudit stejnoměrnost upnutí vzorku v čelistech trhačského přístroje.

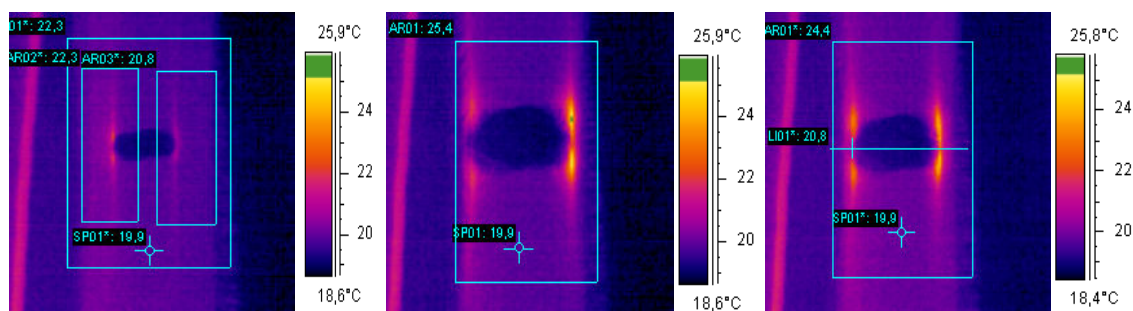
3.6.1 Ulester 32S o plošné hmotnosti 22g/m²

Příklad podrobnějšího kvalitativního vyhodnocení tepelného záření si provedeme na jedné z tkanin zatížené podél osnovy. Jde o nejjemnější tkaninu ze souboru měřených vzorků s obchodním názvem Ulester 32S.

Ulester 32S je 100% polyesterová rezná technická tkanina plátňové vazby. Její plošná hmotnost je 22g/m², což znamená, že jí řadíme mezi lehké tkaniny. Tkanina je zhotovena z monofilamentních vláken (dále nití) o jemnosti 33 dtex. Tato jemnost platí pro obě soustavy nití a to jak osnovu, tak útek. Dostava tkaniny na 10 mm je poměrně nízká, a to 32 osnovních nití na 35 nití útkových.

Ulester 32S je vyroben jako polotovar. Slouží jako základ pro následnou aplikaci polymerního materiálu, který se do tkaniny lisuje. Její uplatnění se nachází především ve výrobě speciálních technických sít.

Ulester 32S a jeho měření podél osnovy



Obr. 38 Obrazový výstup přenosu tepelného záření a rozložení teplot ve tkanině o plošné hmotnosti 22 g/m² zatížené podél osnovy. Zobrazené fáze změn jsou: a) počáteční destrukce b) maximální teplota c) úplná destrukce levé strany

Při jednoosém tahovém zatížení tkaniny ve směru osnovních nití můžeme na obrazovém výstupu z přenosu tepelného záření (viz obr. 38) a grafickém výstupu (viz obr. 40) pozorovat tři nejdůležitější teplotní změny ve zvolené oblasti AR01.

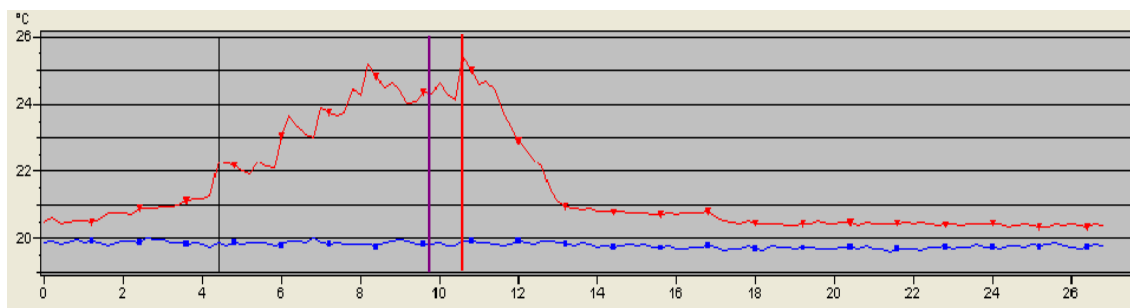
První významnou teplotní změnou je změna, kdy dochází k prvnímu skokovému nárůstu teploty (viz obr. 40). V této fázi můžeme hovořit o počáteční destrukci objektu (viz obr. 38a). Pro určení, v kterém místě destrukce vzniká jsme zvolili v hlavní oblasti AR01 další dvě oblasti, a to AR02 na levé straně od trhliny a AR03 na pravé straně od trhliny. Z teplotního obrazu je možné vysledovat v ploše AR02 počáteční destrukci. Tato plocha nám v levém horním rohu zobrazuje svou lokální maximální teplotu ve zvoleném časovém okamžiku. Změnu teploty v této fázi můžeme porovnat vůči bodu

SP01, zobrazující konstantní teplotu v celém průběhu namáhání. Pozorujeme, že lokální maximální teplota plochy AR02 je shodná s maximální teplotou v celé oblasti AR01, což dokazuje, že maximální teplota počáteční destrukce se právě nachází na levé straně od trhliny a nikoliv na straně pravé v oblasti AR03, matematicky vyjádřeno:

$$t_{\max AR02} = t_{\max AR01} > t_{\max AR03} [^{\circ}\text{C}] \text{ a zároveň } t_{AR03} > t_{SP01} < t_{AR01}, \quad (3.6.1)$$

Z čehož vyplývá, že v průběhu zatížení vzorku až do meze pevnosti dochází po jeho stranách k ohřevu. Teplotní přírůstek v počáteční destrukci je cca 12 %, který můžeme obecně definovat ve stupních Celsia, nebo Kelvinech jako $\Delta t = t - t_1 [^{\circ}\text{C}]$ a v procentech pak:

$$\Delta t = \frac{t_{SP01} - t_{\max AR01}}{t_{SP01}} \times 100 [\%], \quad (3.6.2)$$

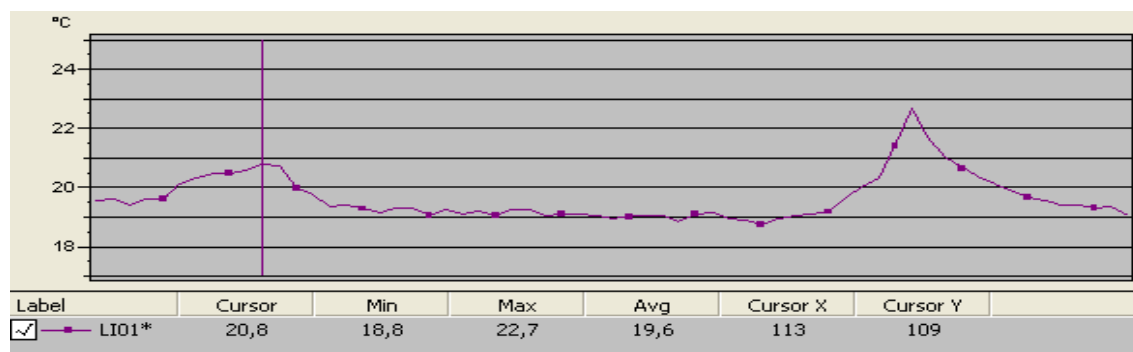


Obr. 40 Grafické znázornění změny maximální teploty v průběhu tahového zatížení v oblasti AR01 vůči konstantní teplotě bodu SP01. — kurzor v místě prvního přetrhu; — kurzor v místě úplné destrukce; — kurzor v místě maximální teploty. Graf je funkcí maximální teploty v oblasti AR01 a konstantní teploty v bodě SP01

Druhá významná teplotní změna v průběhu namáhání objektu je fáze, kdy je dosaženo maximální teploty v celém oboru hodnot, tzv. globální maximum (viz obr.38b). Toto místo nám definuje teplotní křivka (viz obr.40), jenž je výstupem dosažených maximálních teplot v oblasti AR01. Pomocí izotermy pak určujeme přesné místo výskytu této maximální teploty na ploše (viz zelená plocha na obrázku 38b). V této fázi dochází k cca 27,64% navýšení teploty (vztažené vůči bodu SP01) od počátku namáhání.

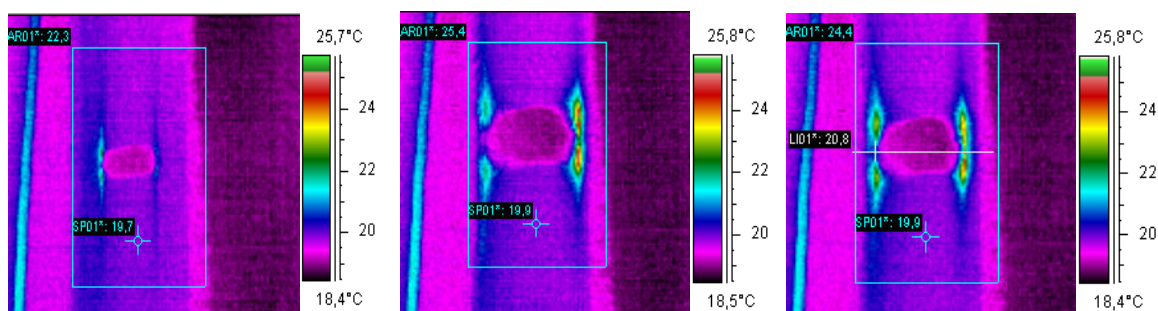
Třetí teplotní změnou je fáze úplné destrukce levé strany (viz obr. 38c; 39) měřeného objektu. U tohoto vzorku tomu dochází ještě před dosažením maximální teploty. Při úplné destrukci levé strany dochází k okamžitému poklesu teploty, což dokazuje křivka na obrázku č. 39, jenž je grafickým výstupem čáry L01 (viz obr.38c)

zobrazující změnu teplotního reliéfu v místě přetrhu a to v oblasti trhliny. Kurzor číselně upřesňuje hodnotu poklesu teploty.

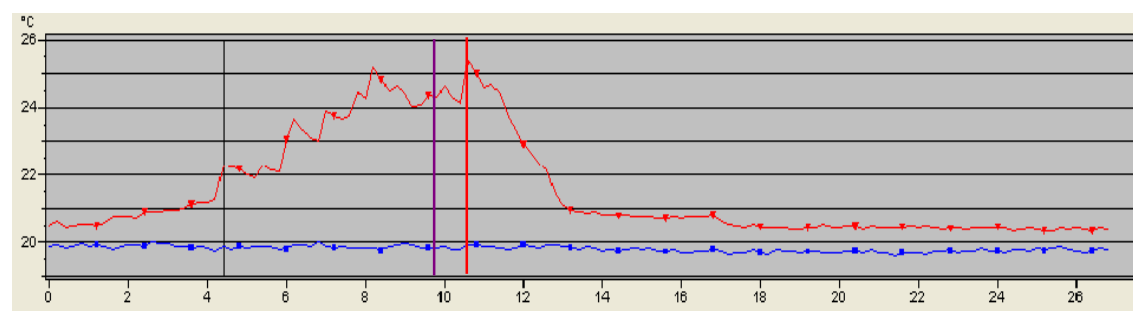


Obr. 39 Grafické znázornění okamžitého poklesu teploty levé strany zatížené textilie (Ulester 32S).

Šíření trhliny



Obr. 41 Zobrazení přenosu zářivé energie ve struktuře textilie typu Ulester 32S
Šíření trhliny v průběhu tahové zkoušky. Fáze: a) počáteční destrukce b) maximální teplota c) úplná destrukce levé strany



Obr. 42 Grafické znázornění změny maximální teploty v průběhu tahového zatížení v oblasti AR01 vůči konstantní teplotě bodu SP01.
— kurzor v místě prvního přetrhu; — kurzor v místě úplné destrukce; — kurzor v místě maximální teploty. Graf je funkcí maximální teploty v oblasti AR01 a konstantní teploty v bodě SP01

Při vyhodnocení šíření trhliny částečně vycházíme z teorie lomu, popsanou Sodomkou v [10, str. 89]. Trhlinu uvažujeme, jako koncentrátor napětí a její šíření probíhá především na okrajích trhliny. Šíření trhliny, resp. její růst můžeme popsat

následovně: „*Při tahovém namáhání se trhlina rozšíří, pokud napětí překročí kritickou hodnotu. Hnací silou šíření trhliny je snížení celkové energie soustavy. Tato energie se pravděpodobně sestává z elastické energie nahromaděné ve vzorku a energie postupující plochy. Obě energie se mění se šířením trhliny. Vztah mezi nimi pak určuje podmínky pro šíření již existující trhliny*“.

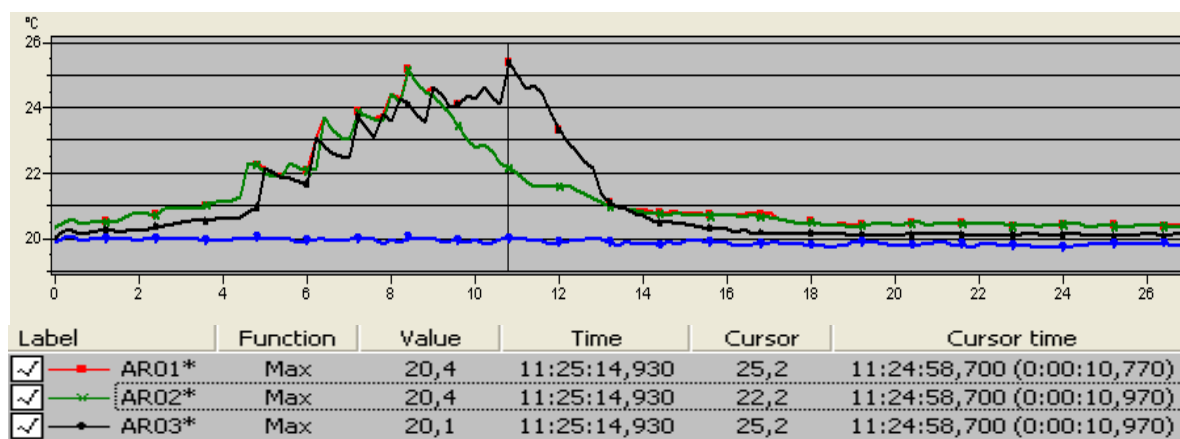
Za předpokladu, že celková energie je úměrná zářivé energii, vznikající při přetrhu textilie, resp. šíření trhliny, potvrzujeme, že při každém překročení kritického napětí, na okrajích trhliny dochází k výraznému nárůstu celkové energie a zářivé energie, a to především nárůstu energie postupující plochy (povrchové energie), zvyšující se s každým dalším přetrhem nitě (vytvořením nového povrchu při šíření trhliny).

Z nestejnomyšlnosti velikosti teplotních polí, na každé straně trhliny (viz obr.40), reprezentující vyzářenou energii, při tahovém namáhání tkaniny a šíření trhliny byly zjištěny následující skutečnosti:

- Trhlina se šíří v závislosti na stejnoměrnosti upnutí měřeného vzorku v čelistech, kterými není prakticky možné uplatnit rovnoměrně tlakovou sílu působící na osnovní a útkové nitě.
- Poloha trhliny a přesnost jejího umístění ve střední části tkaniny na ose x - pokud není trhlina umístěna přesně ve střední části tkaniny, pak je možné pozorovat z grafického záznamu (viz obr. 42) rozdíl ve velikosti maximálně dosažené teploty a tím související vyzářené energie.

Výše uvedené jevy je možné popsat pomocí grafického výstupu maximálních teplot v průběhu tahového zatížení (viz obr. 42 a 43). Na zobrazené křivce je možné pozorovat v čase 8,6 sekund a v čase 10,97 sekund dvě přibližně stejně velké maximální hodnoty vyzářeného a zachyceného tepelného záření. Tento jev se vyskytuje také u tahových křivek (podobnost při tahovém zatížení švů, kdy se šev trhá postupně), který je možno verbálně popsat následovně: „Plocha AR01 vykresluje maximální hodnoty v zatížené oblasti, bez ohledu na to, kde maximální teplota vzniká, jestli napravo či nalevo od trhliny. Pokud zvolíme a vykreslíme další plochy AR02 pro levou stranu a plochu AR03 pro pravou stranu, zjistíme pomocí grafického znázornění (viz obr.43), že první teplotní maximum odpovídá teplotnímu maximu v oblasti AR02 a následující teplotní maximum, pak oblasti AR03 (viz obr.43). Tento jev je způsoben existencí

trhliny a jejím postupným šíření (postupné přetrhy jednotlivých osnovních nití), nestejněměností upnutí všech nití a také nepřesným umístěním trhliny do středu měřeného vzorku na ose x . U tohoto měřeného vzorku bylo počítáním zjištěno, že na pravé straně se vyskytuje větší skupina nití, a to celkem 48 monofilamentních vláken než-li na straně levé, kde se jich nachází 32. Větší počet mezivláknenných kontaktů a vyšší počet vazných bodů má velký vliv na výsledné tření textilie na pravé straně. To způsobí větší protažení této strany, větší počet přetrhů a tím i vyšší akumulaci zářivé energie v tomto místě.

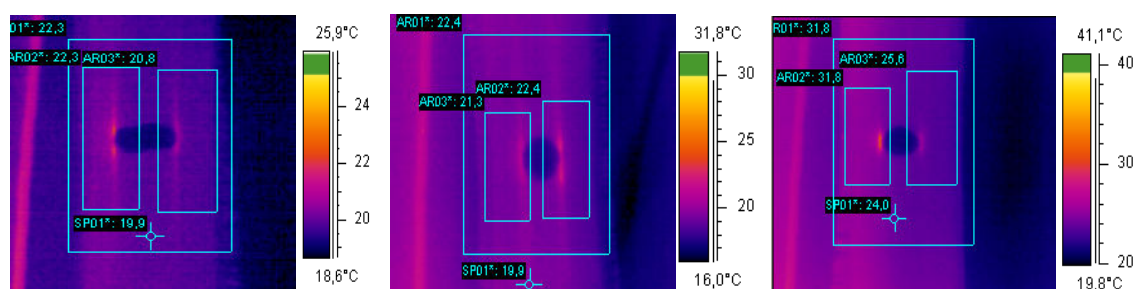


Obr.43 Grafické znázornění teplotních průběhů oblastí AR02 a AR03. Kurzor ukazuje na místo s nejvyšší teplotou v oblasti AR01 a AR03 v čase 10,77.

3.6.2 Porovnání dosažených výsledků

Dosažené výsledky kvalitativně vyhodnocujeme srovnáním v závislosti na plošné hmotnosti tkaniny a jemnosti osnovních a útkových nití, a to z hlediska času, kdy došlo k prvního skokového nárůstu teploty a času, kdy byla dosažena maximální teplota.

3.6.2.1 Počáteční destrukce měřených tkanin podél osnovy

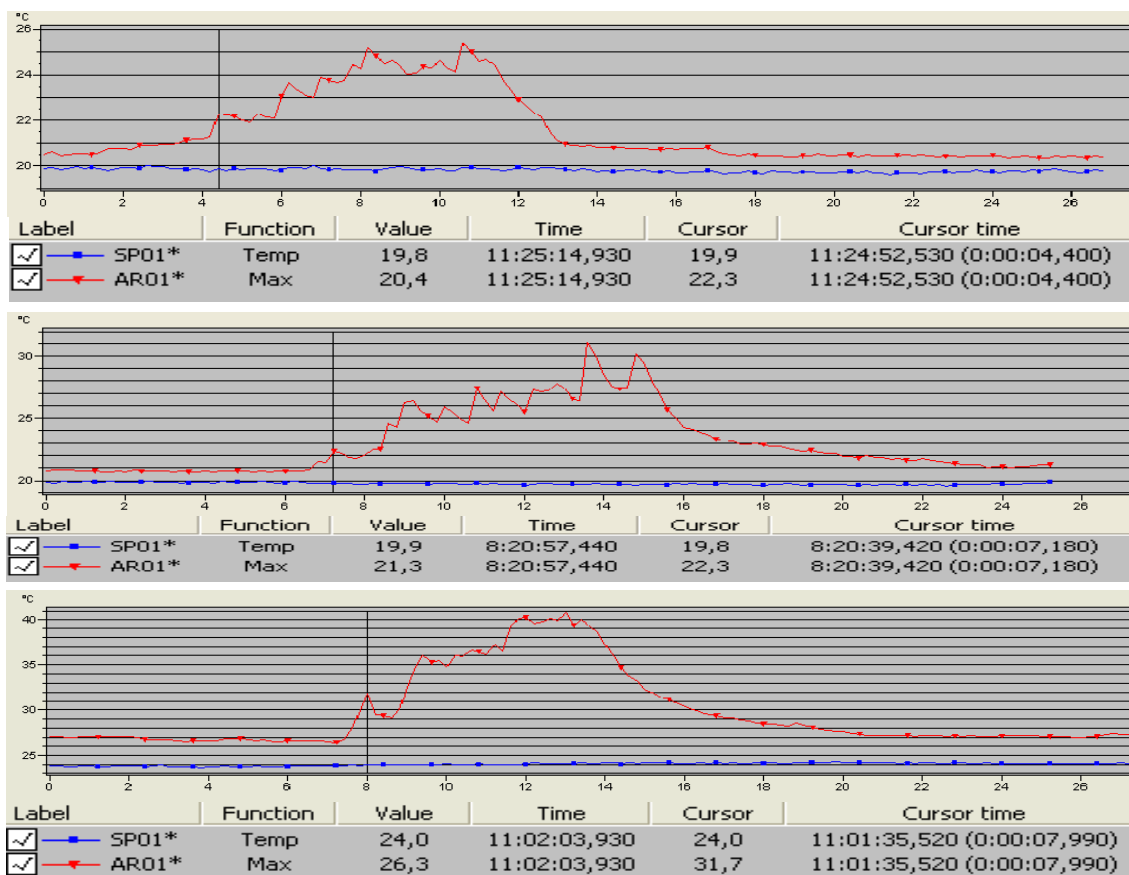


Obr. 44 Počáteční destrukce vzorku měřeného podél osnovy. Příklad obrazového výstupu přenosu tepelného záření v polyesterových tkaninách o různých plošných hmotnostech: a) Ulester 22g/m² b) Uzel 35g/m² c) Unovas 82g/m²

Ve fázi počáteční destrukce můžeme sledovat skokový nárůst teploty, pomocí trendových křivek (viz obr.44), které jsou výsledkem maximálních teplot ve zvolené oblasti AR01 na ploše záznamu. Velikost teploty a doba trvání, než dojde k první destrukci a k první skokové změně teploty, můžeme srovnat prostřednictvím trendových křivek a umístění kurzoru na časové ose, kdy k destrukci dojde. Pokud je porovnáme, pak můžeme říci, že u tkanin o nižších plošných hmotnostech dochází k první destrukci dříve, než-li u tkaniny s výrazně vyšší plošnou hmotností, čemuž také odpovídají různé velikosti dosažených maximálních teplot - viz teplotní stupnice na obrázku 44 a hodnoty pod trendovými křivkami (hodnoty jsou pouze orientační). Tyto údaje byly také pro přehlednost zapsány do tabulky 7.

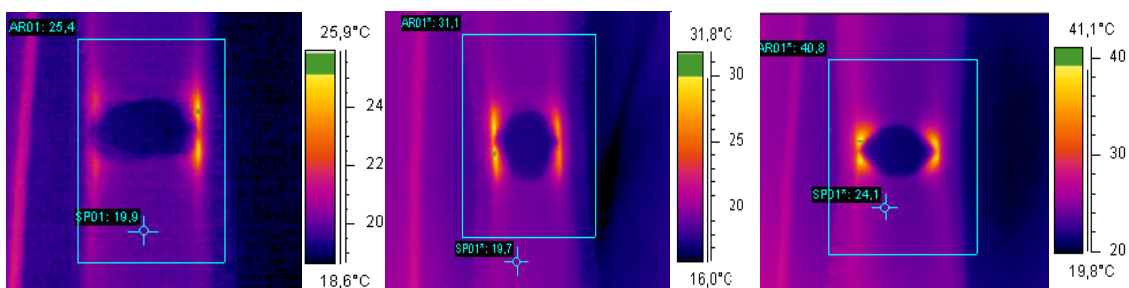
Tab.7 Porovnání hodnot

Porovnání hodnot trendové křivky pro oblast počáteční destrukce osnovních nití vůči plošné hmotnosti a jemnosti osnovních nití			
Název tkaniny	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Jemnost osnovních nití [dtex]	Teplotní přírůstek [%]
Ulester	22	33	12,06
Uzel	35	33	13,13
Unovas	82	78	32,5



Obr. 45 Grafické znázornění počáteční destrukce. Kurzor ukazuje na místo, kdy dochází k první destrukci. Křivky pro a) Ulester 22g/m² b) Uzel 35g/m² c) Unovas

3.6.2.1 Maximální teplota měřených tkanin



Obr.46 Fáze s maximální teplotou v celém oboru hodnot ve zvolené oblasti AR01 vzorku, měřeného podél osy. Příklad je obrazovým výstupem přenosu tepelného záření v polyesterových tkaninách o různých plošných hmotnostech: a) Ulester 22g/m² b) Uzel 35g/m² c) Unovas 82g/m²

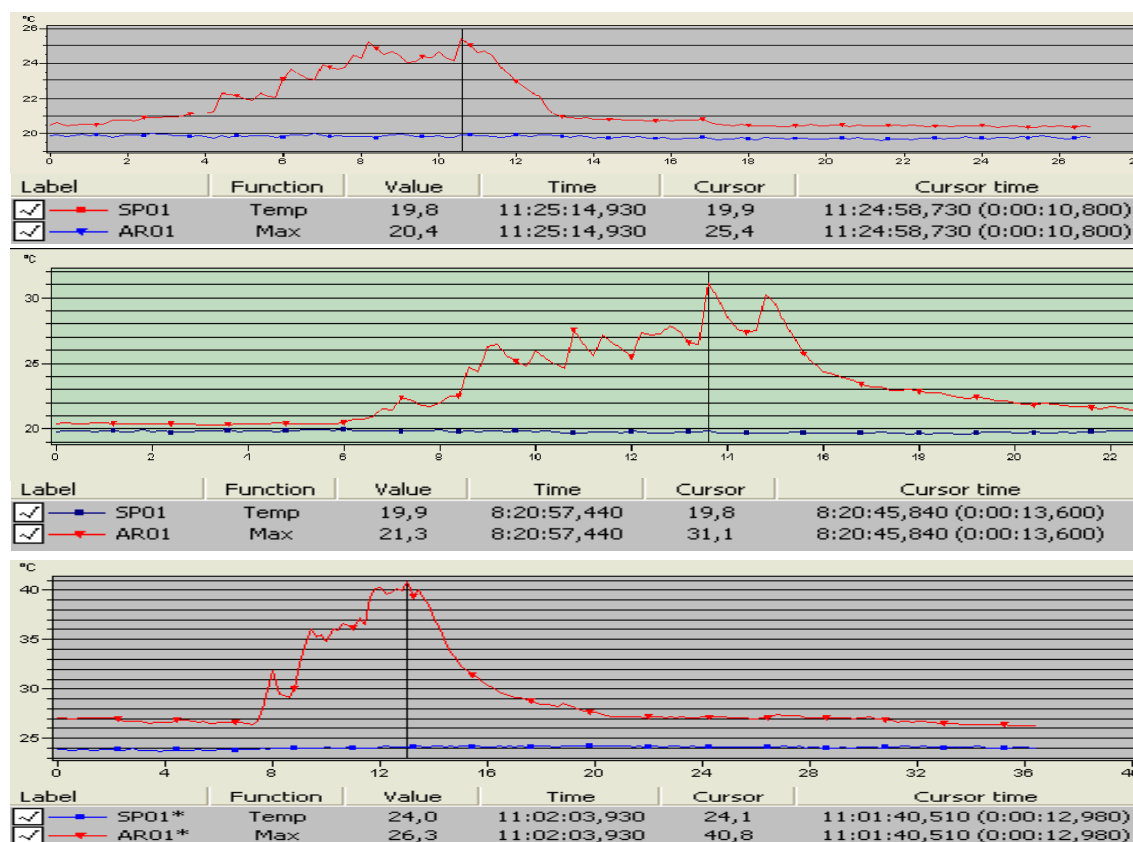
Maximální teplota v oblasti AR01 měřených tkanin byla porovnávána vůči konstantní teplotě bodu SP01. Teplotní přírůstek udává závislost na poměrném prodloužení tkaniny při tahovém zatížení, na plošné hmotnosti, jemnosti osnovních a

útkových nití a jejich počtu na pravé a levé straně od krajů trhliny. Tyto data jsou uvedena v tabulce 8.

Místo výskytu s nejvyšší teplotou a maximálního vyzáření nám pomáhá identifikovat izoterma (viz obr.46), jenž je definována jako oblast složená z bodů, čar a ploch majících tutéž hustotu infračerveného záření. Na obrázku 45 izoterma (označena zeleně) zobrazuje místa, kde dochází k maximálnímu vyzáření.

Tab. 8 Závislost maximální teploty na mechanických a konstrukčních parametrech tkaniny

Závislost maximální teploty na mechanických a konstrukčních parametrech tkaniny						
Název osnovní tkaniny	Teplotní přírůstek ΔT [%]	Poměrné Prodloužení $\Delta \varepsilon$ [%]	Plošná hmotnost [g.m ⁻²]	Jemnost osnovních nití [dtex]	Počet nití na pravé straně	Počet nití na levé straně
Ulester	27,64%	6,60%	22	33	48	32
Uzel	57,07%	9,48%	35	33	69	86
Unovas	69,29%	9,62%	82	78	69	86



Obr.47 Grafické znázornění maximální teploty. Kurzor ukazuje na místo, kdy je dosaženo maximální teploty. Křivky pro vzorky měřené podél osnovy: a)Ulester 22g/m² b) Uzel 35g/m² c) Unovas 82g/m²

3.7 Kvantitativní vyhodnocení naměřených dat

Cílem tohoto vyhodnocení je porovnání výsledných hodnot tepelné energie a intenzity záření, získaných z dat trhačského stroje a termovizní kamery.

Kvantitativně se pokusíme data vyhodnotit pomocí údajů získaných z programu Labtest 2.05 a programu ThermoCAMTM Researcher Professional 2.8 u jednoho vybraného reprezentativního vzorku polyesterové tkaniny o plošné hmotnosti 35 g.m⁻² s obchodním názvem Uzel 43S, zatížený podél osnovy (dále objekt).

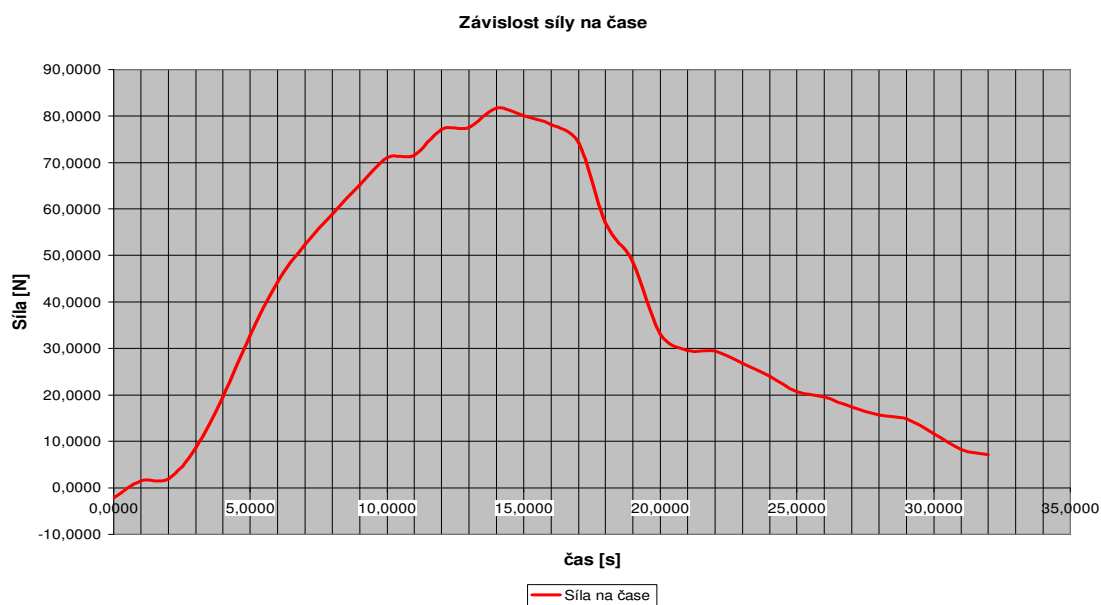
Data získané z programu Labtest 2.05 jsou zpracovány v tabulkovém procesoru Excel. Výsledkem jsou dvě pracovní křivky, resp. dva pracovní diagramy. První vyjadřuje závislost působící síly F na prodloužení vzorku Δl , resp. $F = F(\Delta l)$ a druhá vyjadřuje závislost působící síly F na čase t , přičemž platí, že vzorek byl namáhán až do přetrhu. Z celkové plochy pod křivkou, jenž vyjadřuje $F = F(\Delta l)$, určíme deformační práci W , která je přímo úměrná tepelné energii Q :

$$W = \int_0^l F \cdot dl = Q \text{ [J]},$$

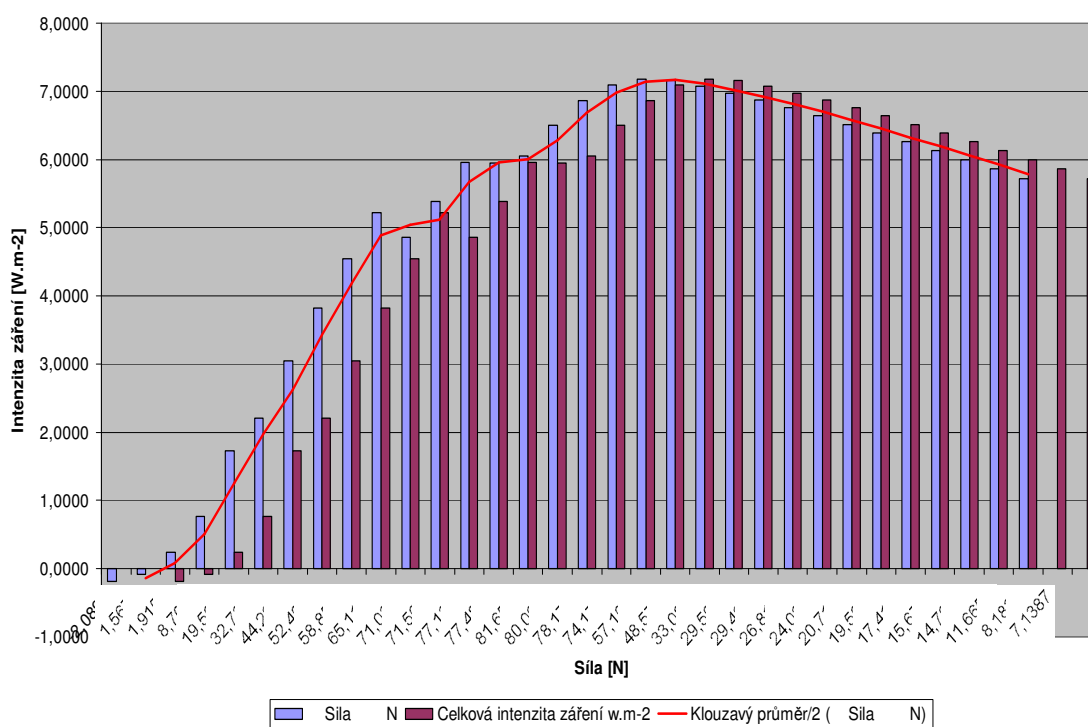
Z celkové práce až do doby přetrhu byla stanovena intenzita záření, matematicko-fyzikálním vztahem:

$$M_{obj}(W) = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{d^2E}{dS \cdot dt} \rightarrow \frac{W}{S \cdot t} \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$$

Z těchto dat byly zpracovány následující hodnoty a grafy:



*Obr.48 Grafické vyjádření závislosti síly na
Intenzita záření a Síla*



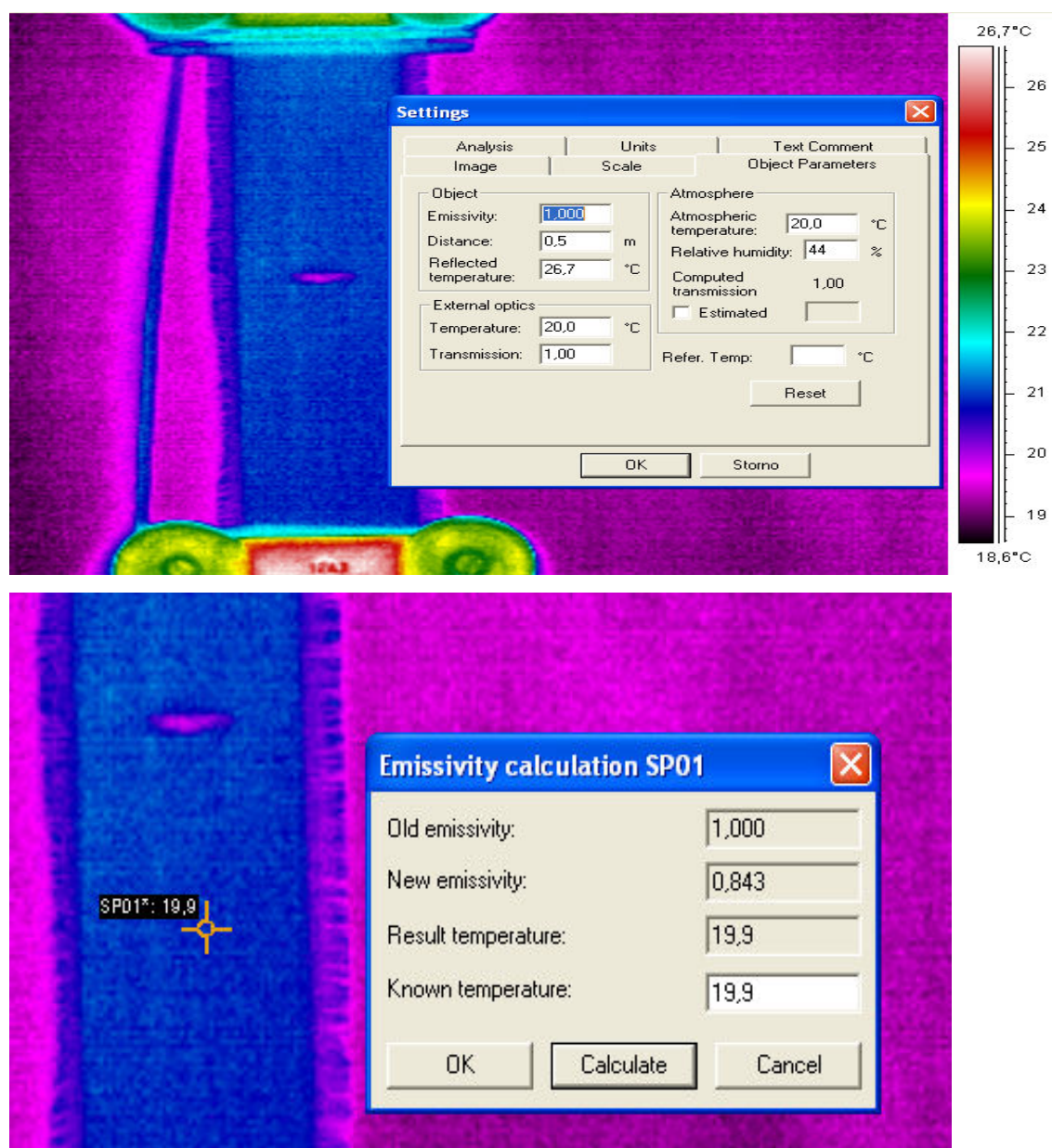
Obr.49 Grafické vyjádření závislosti intenzity záření na síle a síly na intenzitě záření

Tab. 9 Výsledné hodnoty z tahového namáhání

Síla	Prodloužení	Čas	Prodloužení	práce	Celková práce	intenzita záření
N	mm	sec	m	J	J	w.m-2
-2,0894	0,7204	0,0000	0,0007	-0,0004	-0,0015	0
1,5670	2,2200	1,0000	0,0022	0,0002	-0,0019	-0,1932
1,9152	2,3867	2,0000	0,0024	0,0003	-0,0016	-0,0821
8,7057	4,0525	3,0000	0,0041	0,0088	0,0072	0,2402
19,5007	5,7189	4,0000	0,0057	0,0235	0,0307	0,7677
32,7334	7,8510	5,0000	0,0079	0,0557	0,0864	1,7278
44,2249	9,0514	6,0000	0,0091	0,0462	0,1326	2,2097
52,4083	10,7174	7,0000	0,0107	0,0805	0,2131	3,0439
58,8505	12,3834	8,0000	0,0124	0,0927	0,3058	3,8219
65,1186	14,0497	9,0000	0,0140	0,1033	0,4090	4,5449
71,0384	15,7158	10,0000	0,0157	0,1134	0,5225	5,2247
71,5608	15,8825	11,0000	0,0159	0,0119	0,5344	4,8577
77,1324	17,3820	12,0000	0,0174	0,1115	0,6458	5,3819
77,4806	19,0476	13,0000	0,0190	0,1288	0,7746	5,9584
81,6594	19,7808	14,0000	0,0198	0,0583	0,8329	5,9495
80,0923	20,7139	15,0000	0,0207	0,0755	0,9084	6,0560
78,1771	22,3800	16,0000	0,0224	0,1318	1,0402	6,5015
74,1725	24,0462	17,0000	0,0240	0,1269	1,1672	6,8657
57,1093	25,7123	18,0000	0,0257	0,1094	1,2765	7,0919
48,5777	27,3783	19,0000	0,0274	0,0880	1,3646	7,1820
33,0816	29,0445	20,0000	0,0290	0,0680	1,4326	7,1630
29,5993	30,7110	21,0000	0,0307	0,0522	1,4848	7,0706
29,4252	32,3771	22,0000	0,0324	0,0492	1,5340	6,9727
26,8135	34,0435	23,0000	0,0340	0,0469	1,5809	6,8733
24,0277	35,7103	24,0000	0,0357	0,0424	1,6232	6,7635
20,7195	37,3765	25,0000	0,0374	0,0373	1,6605	6,6420
19,5007	39,0430	26,0000	0,0390	0,0335	1,6940	6,5155
17,4114	40,7091	27,0000	0,0407	0,0307	1,7248	6,3880
15,6702	42,3752	28,0000	0,0424	0,0276	1,7523	6,2583
14,7997	44,0405	29,0000	0,0440	0,0254	1,7777	6,1300
11,6656	45,7063	30,0000	0,0457	0,0220	1,7997	5,9991
8,1833	47,3719	31,0000	0,0474	0,0165	1,8163	5,8590
7,1387	49,0373	32,0000	0,0490	0,0128	1,8290	5,7157

Data získané z programu ThermoCAMTM Researcher Professional 2.8 jsou také zpracovány v tabulkovém procesoru Excel. Umožňují nám vyhodnotit intenzitu záření, teplotní změny, teplotní pole a jejich velikost pomocí histogramu a trendových křivek, jenž mohou být i výstupem se záznamu měření. Pro vyhodnocení dat z tohoto programu byl zvolen následující postup:

1. Stanovení podmínek výběru objektu Pro kvantitativní vyhodnocení byl z celého souboru záznamů snímaných tkanin infračervenou kamerou vybrán takový objekt, od kterého se v nejmenší míře odráželo záření okolí, a to především záření z rámu trhacího stroje. Toto záření bylo eliminováno upevněním mokré tkaniny na rám stroje. Záření z čelistí však nebylo možné zanedbat, jelikož vždy vstupuje do měřicího systému. Hovoříme zde o odrážející se zdánlivé teplotě.



Obr. 49 Nastavení odražené zdánlivé teploty a výpočet emisivity

2. Zjištění emisivity objektu

Emisivita objektu byla zjištěna pomocí softwaru ThermaCAMTM Researcher Professional 2.8 v závislosti na emisivitě pro absolutně černé těleso, odražené zdánlivé teplotě čelistí, vstupující do měřicího systému, vzdálenosti kamery od objektu, teplotě a relativní vlhkosti okolí. Jednotlivé parametry měření jsou uvedeny na obrázku 48. Na tomto záběru můžeme pozorovat, že do měřicího systému vstupuje odražená zdánlivá teplota z čelistí stroje. Její velikost stanovujeme, tak, že v parametrech objektu nastavíme emisivitu o velikosti 1, $\varepsilon = 1$ a na teplotní stupnici pak pozorujeme maximální velikost teploty, která je pravděpodobně odraženou zdánlivou teplotou. Tu pak zadáváme do tabulky v softwaru (viz obr. 48). Po nastavení parametrů měření stanovíme na ploše měřeného objektu bod SP01 a pomocí kalkulační funkce (viz obr. 47) vypočítáme emisivitu. Pokud předpokládáme, že teplota objektu je shodná s teplotou okolí, což je 20 °C, pak emisivita objektu je přibližně rovna 0,843. Je nutno upozornit na to, že hodnota emisivity není v celé ploše konstantní. Pro toto měření však stanovujeme podmínku, že emisivita $\varepsilon = \text{konst.}$

3. Výběr oblasti AR01 a sledování teplotních změn

Na ploše záznamu byla vykreslena oblast AR01, která je přibližně rovna velikosti plochy S měřeného objektu a stanovena její emisivita ve výši 0,843. Pomocí histogramu z programu ThermaCAM Researcher byla vypočtena velikost teplotních polí z celkové plochy AR01 a to tak, že v každé vteřině (od počátku měření až po úplnou destrukci) záznamu z termokamery, byla pořízena fotografie, na které jsou dobře viditelné teplotní pole. Jejich velikost pak byla z tohoto histogramu odečtena.

4. Zpracování dat

Data ze sloupcových diagramů byla zadána a zpracována v programu Excel – viz příloha E. Teploty okolí, což jsou teploty nižší než-li 20°C nebyly do níže uvedených výpočtů zahrnuty. Ze zadaných dat v tabulce pomocí matematicko-fyzikální vztahů, jsme vypočetli v každé sekundě následující hodnoty:

A. Velikost plochy teplotního pole:

$$S_{TP} [m^2] = \frac{S_{TP \text{ histogramu}} [\%] \cdot S_{AR01} [m^2]}{100}, \quad (3.7.3)$$

B. Intenzitu záření teplotních polí, vyjádřenou ze Stefan-Boltzmannova zákona:

$$M_{TPobj} [W \cdot m^{-2}] = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{TPobj}^4 \cdot S_{TP}, \quad (3.7.4)$$

C. Celkovou intenzitu záření, která je dána algebraickým součtem všech předchozích velikostí intenzit záření:

$$M_{Cobj} = \sum_S M_{obj}, \quad (3.7.5)$$

D. Průměrnou teplotu vyzářené plochy (teplotního pole):

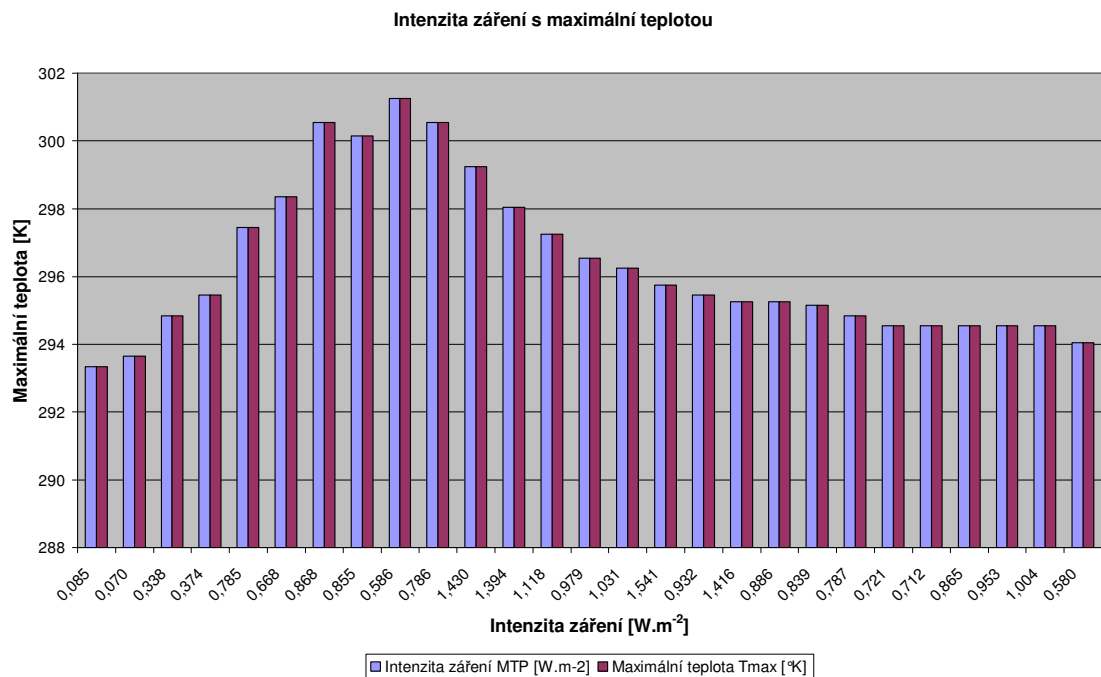
$$T; t = \sum_{t=19,9}^{28,1} (t_{TP} - t_0) \cdot \frac{S_{TP}}{S_{CTP}} [K, ^\circ C], \text{ přičemž } t_0 = 19,9 \quad (3.7.6)$$

Výsledky hodnot byly zpracovány do následující tabulky 10, z které je možné pozorovat velikost teplot, teplotních ploch a intenzitu záření v závislosti na čase. Vzhledem k tomu, že nárůst teploty je zpočátku minimální jsou v této tabulce uvedeny zpočátku hodnoty po čtyřech sekundách až po sekundu osmou, kdy dochází k výraznějšímu nárůstu teploty. Po té jsou již hodnoty uváděny po sekundách. Z hodnot uvedené v této tabulce pak byly zpracovány následující grafy. Z nichž je možné dojít k následujícím závěrům:

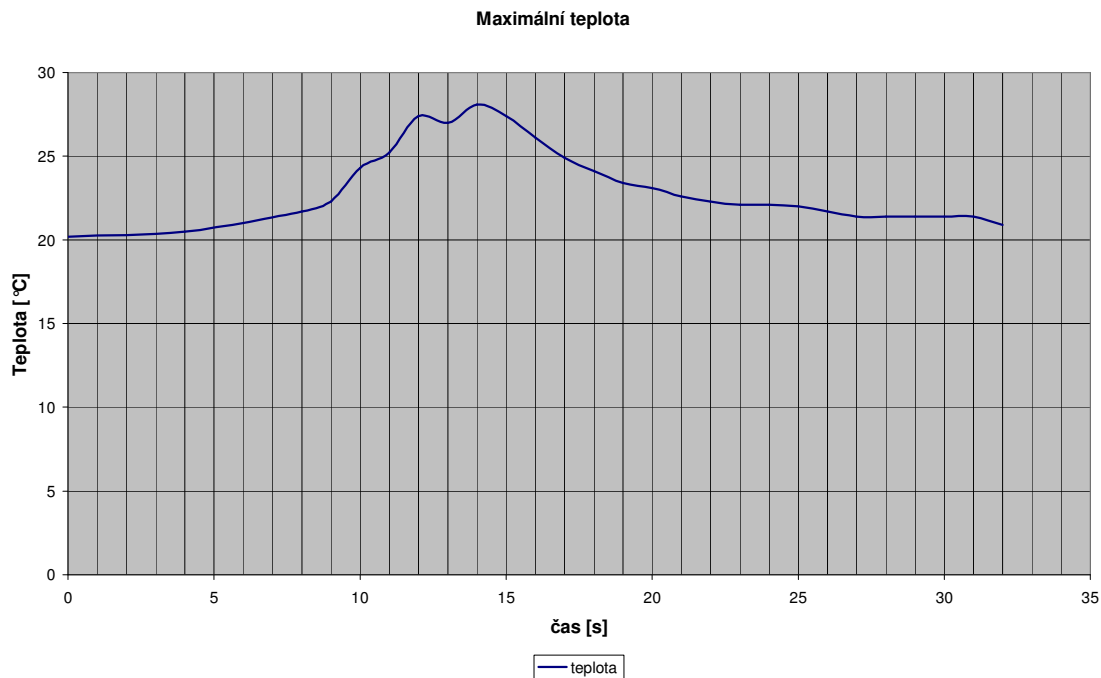
- *Velikost vyzářených ploch (o teplotě vyšší než 19,9°C) je shodná s velikostí intenzity záření.*
- *Průběh trendové křivky, která je výstupem z termovizního záznamu je při její částečné aproximaci shodná s křivkou vyjadřující závislost maximální teploty v Kelvinech na intenzitě záření.*
- *Intenzita záření roste a klesá současně s růstem a poklesem termodynamické teploty*
- *S přírůstkem deformační práce, roste i tepelná energie (teplo) a taktéž intenzita záření a naopak s poklesem působící síly, klesá tepelná energie a také intenzita záření.*

Tab. 10 Výsledné hodnoty z termovizního měření

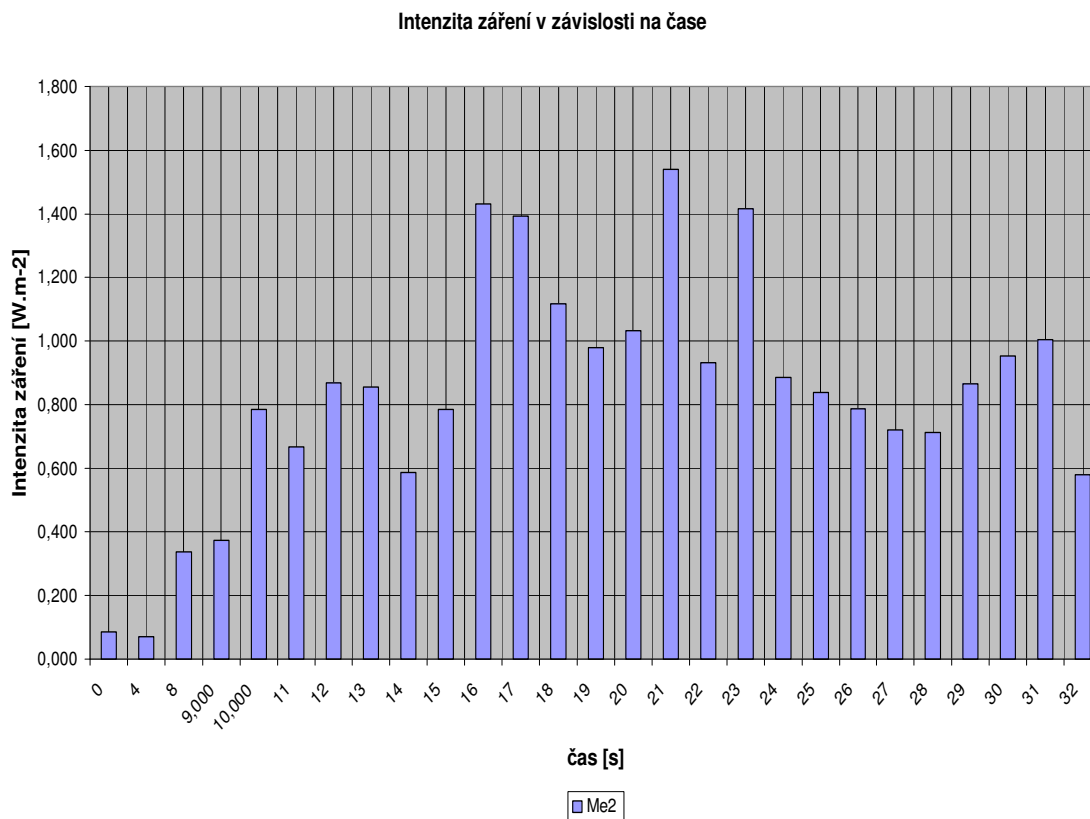
Čas [s]	Maximální teplota	Průměrná teplota z vyzářených ploch [°C, K]	Celková teplotní plocha [m ²]	Intenzita záření
t	t _{max} [°C]	T [°C, K]	S _{TP} [m ²]	M _{TP} [W.m ⁻²]
0	20,2	0,300	0,000	0,085
4	20,5	0,317	0,000	0,070
8	21,7	0,410	0,001	0,338
9	22,3	0,458	0,001	0,374
10	24,3	0,590	0,002	0,785
11	25,2	0,703	0,003	0,668
12	27,4	0,834	0,002	0,868
13	27,0	0,845	0,002	0,855
14	28,1	1,406	0,002	0,586
15	27,4	1,106	0,002	0,786
16	26,1	0,769	0,004	1,430
17	24,9	0,704	0,004	1,394
18	24,1	0,807	0,003	1,118
19	23,4	0,723	0,003	0,979
20	23,1	0,654	0,003	1,031
21	22,6	0,511	0,004	1,541
22	22,3	0,606	0,003	0,932
23	22,1	0,454	0,004	1,416
24	22,1	0,528	0,002	0,886
25	22,0	0,519	0,002	0,839
26	21,7	0,460	0,002	0,787
27	21,4	0,428	0,002	0,721
28	21,4	0,395	0,002	0,712
29	21,4	0,369	0,002	0,865
30	21,4	0,349	0,003	0,953
31	21,4	0,300	0,003	1,004
32	20,9	0,245	0,002	0,580



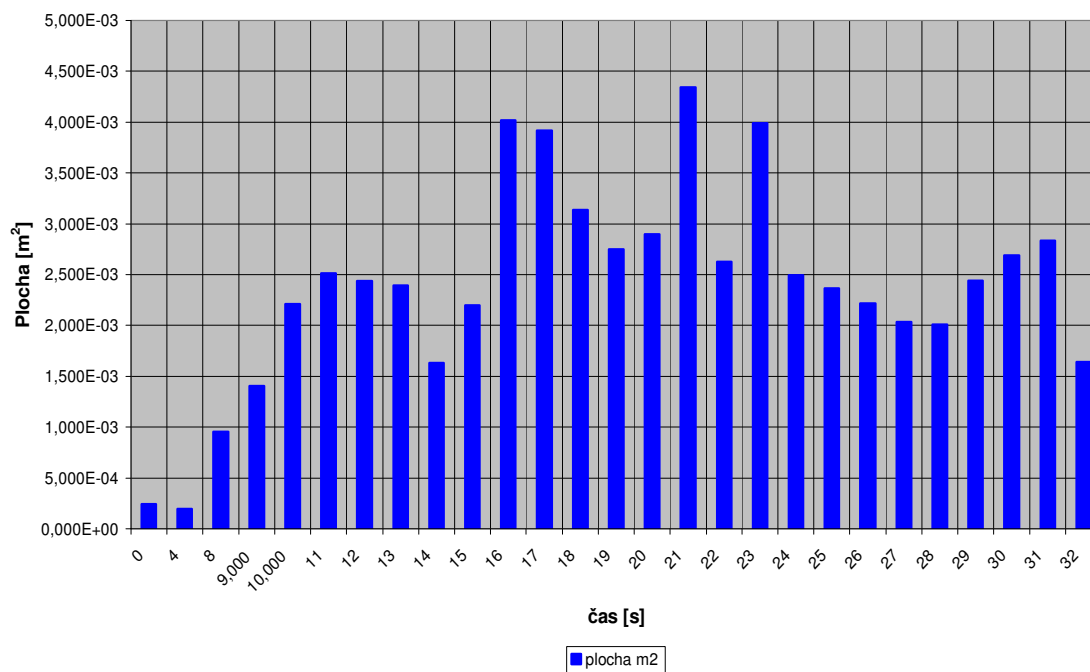
Obr.50 Intenzita záření s maximální teplotou



Obr.51 Maximální teplota na čase



Obr. 52 Intenzita záření s v závislosti na čase
Plochy teplotních poli



Obr. 53 Velikost zářivé plochy v závislosti na čase

3.8 Diskuse výsledků

K ověření možnosti použití termografie na textilie zatížené osovým tahovým namáháním bylo prováděno měření na vzorcích rezných tkanin plátnové vazby o různých plošných hmotnostech s uměle vytvořenou trhlinou. K namáhání vzorků bylo použito trhacího přístroje Labtest typu 2.05. Ke snímání povrchové teploty při tahovém zatížení zkoušené textilie bylo použito termovizní kamery ThermoCAMTM S60. Tuto jsme umístili na stativ ve vzdálenosti 0,5 metru od měřeného vzorku.

Zatěžované tkaniny s neznámou emisivitou rozměrů 300 mm x 50 mm byly upevněny ve vzdálenosti 50 mm od okrajů, takže počáteční předejatá délka textilie byla 200 mm ± 1 mm. V programu Labtest 2.05 bylo nastaveno předpětí o velikosti 2N pro eliminaci deformace vzniklé na zkušebním stroji do chvíle, než došlo k reálnému nárůstu síly na zkušebním vzorku. Vzorky byly namáhány až do přetrhu a byla určená pevnost a tažnost pomocí pracovních diagramů jednotlivých vzorků spolu s křivkami teplotních změn, které jsou součástí přílohy B. Zkušební vzorky byly měřeny ve dvou směrech a to podél osnovy a podél útku. Rychlost posuvu horního příčnicku činila 100mm/min.

Hodnoty zkoušených tkanin jsou uvedeny v tabulce 11. Tabulka hodnot ukazuje vzájemnou závislost teplotního přírůstku v procentech a maximálního prodloužení v mm při maximální tahové síle v [N]. Z těchto hodnot je možné označit textilie jako anizotropní. Vykazují tedy v různých směrech, různé vlastnosti.

Tab. 10 Vzorky tkanin plátnové vazby rozměrů 50mm x 300 mm a upínací délky 200 mm

Název tkaniny	Měřeno	Pevnost [N]	Prodloužení [mm]	Teplotní přírůstek Δt [%]
Ulester	osnova	56,06	13,19	27,64%
	útek	69,82	17,71	31,37%
Uzel	osnova	78,53	18,96	57,07%
	útek	73,13	23,89	58,80%
Unovas	osnova	152,16	19,24	69,29%
	útek	166,975	21,32	84,15%

Upana	osnova	1054,96	44,61	55,64%
	útek	1051,47	38,08	28,85%

Také můžeme pozorovat, u Upany ze 100% polyamidu (viz tabulka 10), výrazně nižší hodnoty v teplotních přírůstcích, přesto, že tkanina má výrazně vyšší plošnou hmotnost. Tyto rozdíly si můžeme vysvětlit v souvislosti s vyšší odrazivostí povrchu tkaniny, kterou je možné pozorovat právě pomocí obrazové analýzy. Platí, že se zvyšující se odrazivostí, klesá emisivita.

Pomocí 3D obrazu vytvořeném programem ThermaCAM Researcher 2.8, bylo při jednoosé deformaci textilie plátňové vazby tahovým namáháním zjištěno, že na osách x a y dochází k následujícím jevům:

- k oddálení nití, které jsou kolmé na osu namáhání y . *Dochází k protažení osy y ,*
- k přiblížení nití, které jsou kolmé na osu x . *Dochází ke zúžení na ose y ,*
- k posunu vazných bodů. Posunem vazných bodů dochází ke tření mezi nitěmi a vlákny na povrchu příze,
- k prodloužení délky textilie,
- k výrazné deformaci v místě trhliny způsobující zúžení místa na ose x .

Z pohledu energií došlo v měřených tkaninách k vývinu a absorpci tepla. Tepelná aktivita, která byla vybuzena vnitřním třením struktury a přetrhy osnovních nebo útkových nití, které se projevilo na povrchu textilie tepelným zářením. Vzhledem k tomu, že tkanina patří mezi polopropustné materiály, pak toto záření muselo z hmoty tkaniny projít až na její povrch, tzn. skrze materiál tkaniny, ve kterém se částečně pohltilo. Navíc část záření, které se dostalo na povrch, bylo odraženo zpět do tkaniny. Odražené záření je opět částečně pohlcováno, přičemž část, která se dostane až k povrchu, se ve větší míře vyzářila a část se odrazila zpět do tkaniny.

Teplotní obraz a grafické vyjádření nám umožňují kvalitativně, ale také kvantitativně vyhodnotit průběh namáhání měřeného vzorku, zatíženého tahem.

Při namáhání textilie na dynamometru docházelo také k elastické a plastické deformaci textilie a následnému překročení meze pevnosti, tzv. přetrhu. Nestejnoměrnosti tkaniny, které se projevují třením nití či vláken o sebe, posuvem osnovních a útkových nití, posuvem vláken a v neposlední řadě destrukce vláken a nití, se projevují teplotními diferencemi v rozložení povrchové teploty, kterou termovizní kamera zachytí. Přetrhy v textilní vrstvě se projevují skokovým nárůstem teploty, ale také teplotních ploch. Překročí-li napětí v některých vláknech a nitích meze pevnosti,

dochází k jejich přetrhu, které jsou graficky zaznamenány jako lokální či globální maxima teplotních hodnot. Tyto maxima (extrémy) ve zvolené oblasti na ploše záznamu je možno graficky vyhodnotit v závislosti na čase pomocí trendové křivky, která je výsledkem teplotních změn.

Při přetrhu jedné či více nití současně v plošné textilií jsou pak zaznamenány nejvyšší teplotní změny. Dochází k okamžitému nárůstu záření nejen v místě přetrhu, ale také v jeho okolí. Naopak při přetrhu celé textilie dochází k okamžitému teplotnímu poklesu. Z výsledků měření bylo potvrzeno, že rychlost a velikost vzniku a šíření zářivé energie je závislá na:

- Hustotě mezivláknenných kontaktů v textilií, což nám charakterizuje počet nití na 1cm^2 , tzv. *dostava*. Obsah vzduchu mezi vlákny a nitěmi v osnově a útku ovlivňuje rychlost a šíření tepla.
- Plošné hmotnosti
- Jemnosti osnovních a útkových nití
- Polymerním chování materiálu, především jeho poměrné prodloužení
- Přesnosti umístění trhliny ve střední části měřeného vzorku
- Stejnoměrnosti upnutí vzorku v čelistech

Z výše uvedeného byla potvrzena následující závislost: „Čím vyšší je plošná hmotnost rezné tkaniny, hustota a jemnost jejich nití, tím více se zářivé energie vyzáří. K destrukci pravé či levé strany od trhliny dojde nejdříve na té straně, kde je nižší počet osnovních nebo útkových nití a taktéž k nižšímu vyzáření a dosažení maximální teploty, nežli na straně opačné, kde je nití více.“

Mezi další faktory ovlivňující radiaci složek tepelného přenosu podle Vallabh [15], jenž byly potvrzeny i tímto měřením dále patří:

- Teplota tkaniny – přenos tepla zářením je přímo úměrný se čtvrtou mocninou absolutní teploty.
- Velikost plochy nití. Záření klesá s poklesem průměru vlákna a naopak. (Průměr vlákna je hlavním geometrickým parametrem ovlivňující absorpci zářivé energie).
- Podíl vláknenné složky – prostup tepla zářením je menší, přesto, že vláknenná struktura je tak hustá až je téměř neproniknutelná – resp. přestože, vláknenná struktura je téměř neproniknutelná bude se vyskytovat prostup tepla zářením.

- Emisivita vláken a hraniční plochy nití v textilií. Přítomnost reflexních povrchů (odrazivé složky) redukuje přenos tepla zářením. Emisivita: $\varepsilon < 1$.

Z kvantitativního měření jsme došli k následujícím závěrům:

- Velikost vyzářených ploch (o teplotě vyšší než 19,9°C) je shodná s velikostí intenzity záření.
- Průběh trendové křivky, která je výstupem z termovizního záznamu je při její částečné aproximaci shodná s křivkou vyjadřující závislost maximální teploty v Kelvinech na intenzitě záření.
- Intenzita záření roste a klesá současně s růstem a poklesem termodynamické teploty
- S přírůstkem deformační práce, roste i tepelná energie (teplo) a taktéž intenzita záření a naopak s poklesem působící síly, klesá tepelná energie a také intenzita záření.

3.9 Závěr

Předmětem diplomové práce bylo nastudovat děje, které vznikají při přetrhu textilie pomocí termovize. Pro toto studium byly vybrány různé tkaniny plátňové vazby o různých plošných hmotnostech. Z materiálu byl zvolen 100% polyester.

Pro úspěšné provedení experimentu bylo nejprve nutné provést teoretický rozbor mechanických vlastností délkových a plošných textilií, především jejich pevnost a tažnost, dále konstrukční parametry plošných textilií a jejich vlastnosti povrchu, které mají vliv na emisivitu a přenos tepla zářením. Z pohledu vzniku tepla v plošných textiliích bylo teoreticky popsáno tření plošných textilií, jenž je aktivátorem tepelného záření. Jelikož je možné toto tepelné záření zachytit pomocí infračervené kamery, tzv. termovize, bylo nutné také pochopit a teoreticky popsat základní princip termografie a s ním související zákony vyzařování. Byl zdůrazněn vliv emisivity na celkový výsledek velikosti teploty.

V experimentální části byly uvedeny parametry měřených tkanin a popsány použité měřicí přístroje v průběhu celého měření. Na základě teorie nejslabšího článku řetězce a z prvotních zkušebních experimentů byla vytvořena trhlina ve střední části měřeného vzorku o velikosti cca 20mm a stanoven postup měření.

V softwaru ThermaCAMTM Researcher Professional 2.8 byla zpracována data z termovizního měření a ta vyhodnocena především *kvalitativní srovnávací termografickou metodou*. Naměřená data byla vyhodnocena podle klíčových teplotních změn a byly prozkoumány rozdíly teplotních polí a profilů, jenž byly definovány podle intenzity změn mezi měřenými objekty. Z těchto byla vyjádřena jejich závislost na konstrukčních parametrech měřených tkanin s trhlinou, což se do jisté míry podařilo.

Kvantitativně pak byla naměřená data infračervenou kamerou zpracována jak softwarem ThermaCAMTM, tak tabulkovým procesorem Excel. U kvantitativního vyhodnocení pro výpočet velikosti teplot, teplotních polí a intenzity záření bylo nutné nejprve stanovit emisivitu tkaniny, odraženou zdánlivou teplotu a další parametry měření. Je však potřeba uvést, že kvantitativní vyhodnocení je velice složitý problém a hodnoty které byly vypočítány, jsou pouze přibližné hodnoty z následujících důvodů:

- *Emisivita tkaniny není konstantní.* Platí, že emisivita je také funkcí termodynamické teploty a v případě, že se mění teplota, mění se i emisivita a naopak.

- *Do systému vstupoval také zářivý tok pozadí (z tkaniny, připevněné k rámu stroje), který můžeme považovat u záznamu „UZEL3O_1382_1807.SEQ za téměř konstantní. V případě ostatních měřených tkanin bylo možné pozorovat, že tento zářivý tok se měnil v průběhu vysychání tkaniny a do měřicího systému pak vstupovalo také odražené záření od rámu stroje.*
- *Při namáhání tkaniny dochází ke změně její struktury a zvyšuje se její propustnost. Platí, že pokud se mění emisivita, mění se i propustnost tkaniny.*

Závěrem se tedy ptáme: „ Jak se mění propustnost tkaniny při jejím tahovém namáhání, kdy dochází ke změně její struktury? Je možné ji změřit? Jakým způsobem? A konečně jaký vliv má na výsledné tepelné záření a velikost maximální teploty?“

Z výše uvedeného vyplývá, že jde o velice složitý problém, jehož rozbor doporučujeme pro další výzkum v této oblasti. Ten by mohl pomoci prakticky uplatnit použití termovize všude tam, kde by destrukce plošných či délkových textilií mohla způsobit ohrožení života, závažně narušit běh průmyslové výroby a z toho plynoucí ztráty. K tomu abychom takovým jevům předešli, je však nutná nejen přesná znalost emisivity (její neznalost znamená ve výsledku značnou chybu měření), ale také dalších parametrů majících vliv na určení kritické teploty při které dochází k destrukci. Z této bychom pak mohli stanovit bezpečnou teplotu a pomocí termovizní kamery a elektronických čidel bychom mohli spustit například alarmující zprávu, která by zabránila nežádoucím jevům.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. HES, Luboš: Nové metody tepelných měření při optimalizaci výroby a vlastností textilií. Doktorská disertační práce, Liberec, 1991
2. HLOUŠEK, Jiří a kolektiv, Termomechanika, vyd.2, 2000 brno, s.297, ISBN 80-214-1720-X
3. Kolektiv autorů: termovizní diagnostika, Sborník, Vyd.1. 1979 Praha Ostrava, str.94, Ryšánek Vladimír, Princip funkce termovizní techniky, číslo publikace 57-415-79 (1727)
4. Kolektiv autorů, Infračervená radiometrie - Infrasytémy, Sborník, Vyd.1. říjen 1988 Ostrava, str.197, Hes, Luboš, Výpočet vlivu emisivních vlastností textilie a sálaní stěn ohřívací komory na údaj bezdotykového teploměru, číslo publikace 60/618/88
5. KOVAČIČ, Vladimír. *Textilní zkušebnictví. Díl 2.* 1. Vyd. Liberec : Technická univerzita [Liberec], 2004. s. 69. ISBN 80-7083-825-6
6. KOVÁŘ, Radko: Struktura a vlastnosti plošných textilií. 1.vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003, s.142, ISBN 80-7083-676-8
7. LYSENKO, Vladimír: Detektory pro bezdotykové měření teplot, 1. vyd. Praha 2005; 153 s. ISBN 80-7300-180-2
8. LYSENKO, Vladimír: Měření a regulace teplot v teorii a praxi, Sborník přednášek, 4-5.října 2000 Ostrava 1. vyd. Ostrava2000; 180 s. ISBN 80-85988-54-2
9. NECKÁŘ, Bohuslav: Příze, tvorba, struktura, vlastnosti. 1.vyd. Praha:SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., 1990, s.452, ISBN 80-03-00213-3
10. SODOMKA, Lubomír: Struktura, vlastnosti diagnostika a nové technologie oddělování, spojování a pojení textilií, vyd.1. 2002, str.181, publikace první, Technická univerzita v Liberci, ISBN 80-7083-645-8
11. STANĚK, Jaroslav: Nauka o textilních materiálech, díl I., část 4. Vlastnosti délkových a plošných textilií. Vyd.1. str.151, Liberec, Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1988
12. SVOBODA, Emanuel: Přehled středoškolské fyziky, Vyd.3, 1998, str.497, Praha, ISBN 80-7196-116-7
13. SVOBODA, Jiří. Termodiagnostika, Praha, 200X, učební texty ve vlastnictví společnosti TMV SS spol. s r.o. pro uchazeče o akreditovanou certifikaci v oboru Termodiagnostika.

14. VAVERKA, Jiří; MACHUTA, Karel; RYBNÍKÁŘ, Jiří. Teorie a praxe předání ve vlnářském průmyslu Česaná příze. 1.vyd.Praha:SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1990, s.440, ISBN 80-03-00133-1
15. VALLABH, Rahul: Thermal Barrier Properties of Flame Resistant Nonwovens (Under the direction of Dr. Pam Banks-Lee)

POUŽITÉ NORMY

16. ČSN EN ISO 13934-1, metoda STRIP

INTERNETOVÉ ZDROJE

17. Dostupné z http://www.kod.vslib.cz/info_predmety/STE/mereni_teploty.pdf, studijní podklady
18. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/>
19. Dostupné z <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/128022-elektromagneticke-spektrum>
20. Dostupné z: http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060223/mechatronika_vlakna_2006.pdf, studijní podklady

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha A Obrazy pořízené obrazovou analýzou LUCIA
- Příloha B Tahové křivky měřených vzorků s trhlinou
- Příloha C Trendové křivky a obrazové výstupy z programu ThermaCAM
- Příloha D Sledování bodu s nejvyšší teplotou
- Příloha E **Pevnost a tažnost pro Uzel 43S, zatížený podél osnovy**

Příloha A

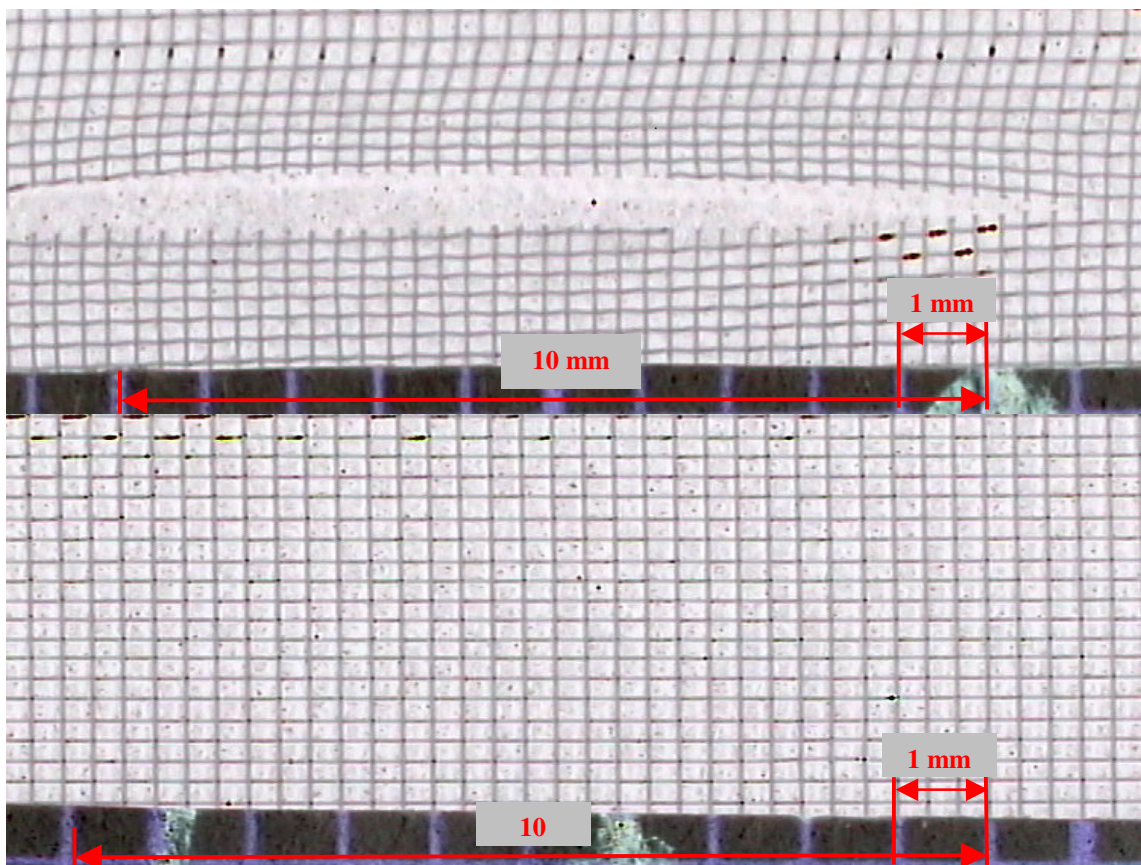
Obrazy pořízené obrazovou analýzou LUCIA

Ulester 32 S, 100% Polyester, Plošná hmotnost 22g/m², Dostava 32 x 35 nití na 1cm²

Pomocí těchto invertovaných obrazů můžeme subjektivně říci, že:

- jde o poměrně stejnoměrnou tkaninu, bez výskytu okem pozorovatelných vad,
- hustota tkaniny, tzv. dostava pomocí milimetrového přiloženého měřítka ve spodní části obrazu byla potvrzena,
- útkové i osnovní nitě jsou tvořeny monofilem,
- tmavá pole v místě monofilních nití jsou odrazem dopadajícího světla - odraz světla je minimální,
- tkanina má vyšší propustnost.

V místě trhliny je možno vysledovat deformaci osnovních a útkových nití po jejím porušení žiletkovým nožem.

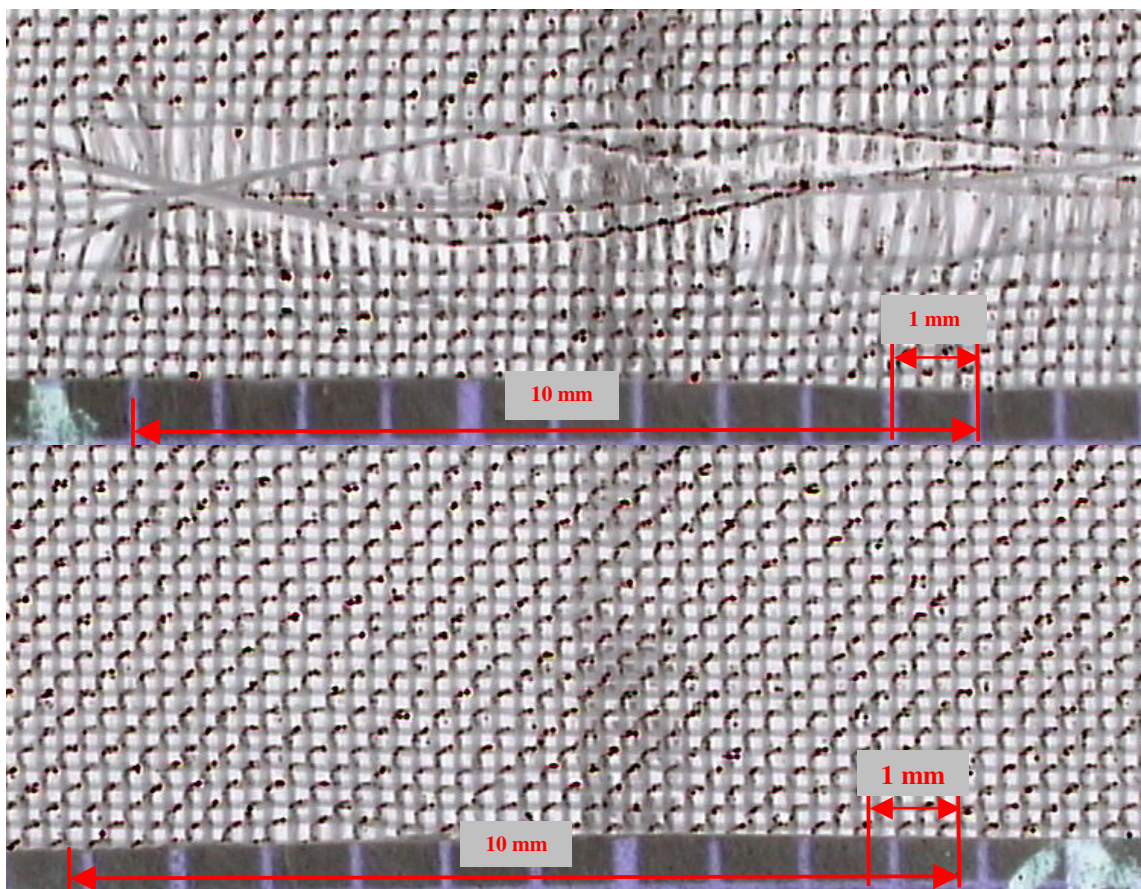


Obr. A1 Ulester 32 S Plošná hmotnost 22g/m²

Uzel 43 S, 100% Polyester, Plošná hmotnost 35g/m², Dostava 43 x 41 nití na 1cm²

Pomocí tohoto invertovaného obrazu můžeme subjektivně říci, že:

- jde o poměrně stejnoměrnou tkaninu,
- hustota tkaniny, tzv. dostava pomocí milimetrového přiloženého měřítka ve spodní části obrazu byla potvrzena,
- útkové i osnovní nitě jsou tvořeny přízí,
- tmavá pole v místě osnovních a útkových přízí zobrazují odraz dopadajícího světla. Odraz světla je v celé plošné textilií ve směru diagonálním. Tento směr je pravděpodobně dán způsobem provázání osnovních a útkových nití. Nitě, které jsou blíže zdroji světla – osnovní nitě nad útkovými a útkové nitě nad osnovními
- v místě trhliny vysoký zákrut (cca 800 zákrutů) na niti způsobuje protočení a překřížení nití v místě porušení struktury. Nit má tendenci relaxovat a tak dochází k jejímu uvolnění ze struktury. Můžeme také pozorovat na termogramu.

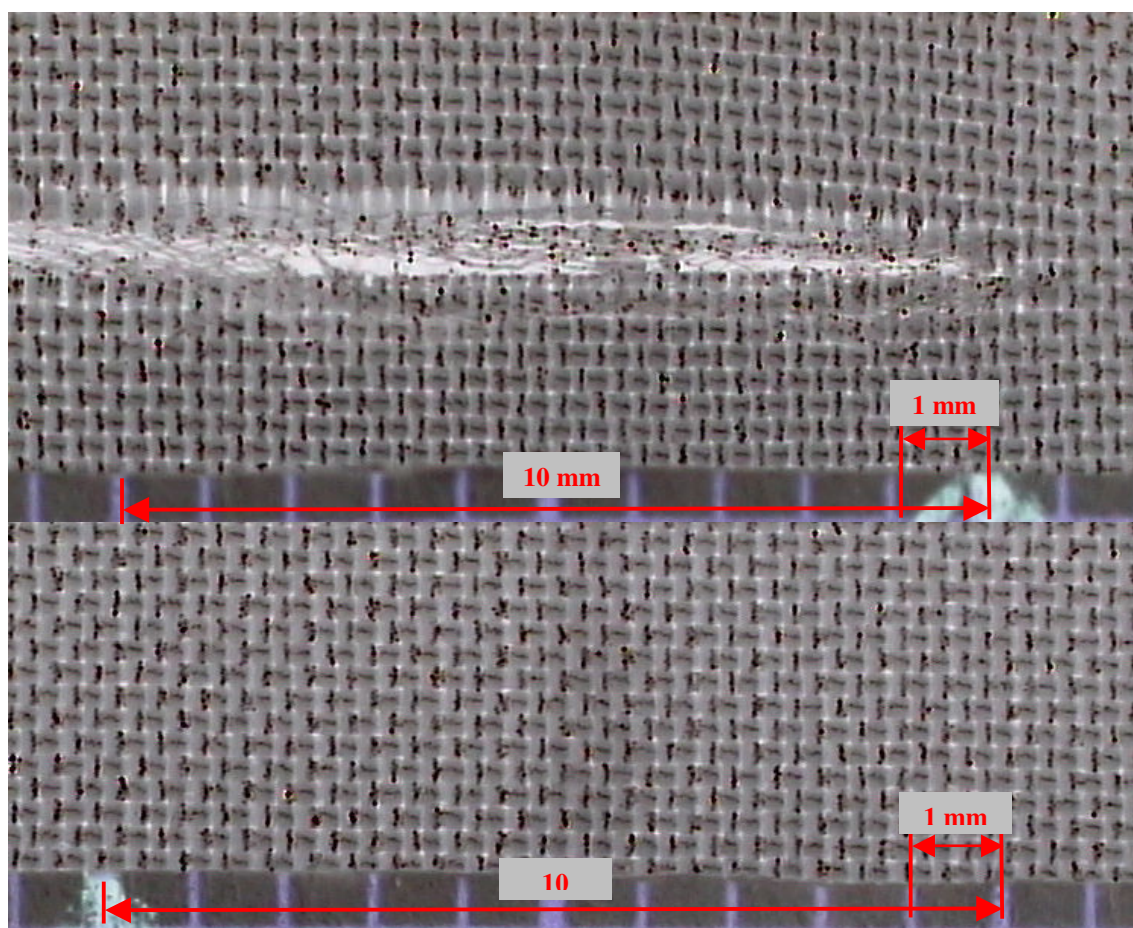


Obr. A2 Uzel 43 S, Plošná hmotnost 35g/m²

Unovas, 100% Polyester, Plošná hmotnost 82g/m², Dostava 43 x 35 nití na 1cm².

Pomocí tohoto invertovaného obrazu můžeme subjektivně říci, že:

- jde o poměrně stejnoměrnou tkaninu,
- hustota tkaniny, tzv. dostava pomocí milimetrového přiloženého měřítka ve spodní části obrazu byla potvrzena,
- útkové i osnovní nitě jsou tvořeny přízí,
- tmavá pole v místě osnovních a útkových přízí zobrazují odraz dopadajícího světla,
- nízká propustnost tkaniny
- v oblasti trhliny dochází ke snadnému uvolnění útkových nití a k ojednocování vláken v přízi.

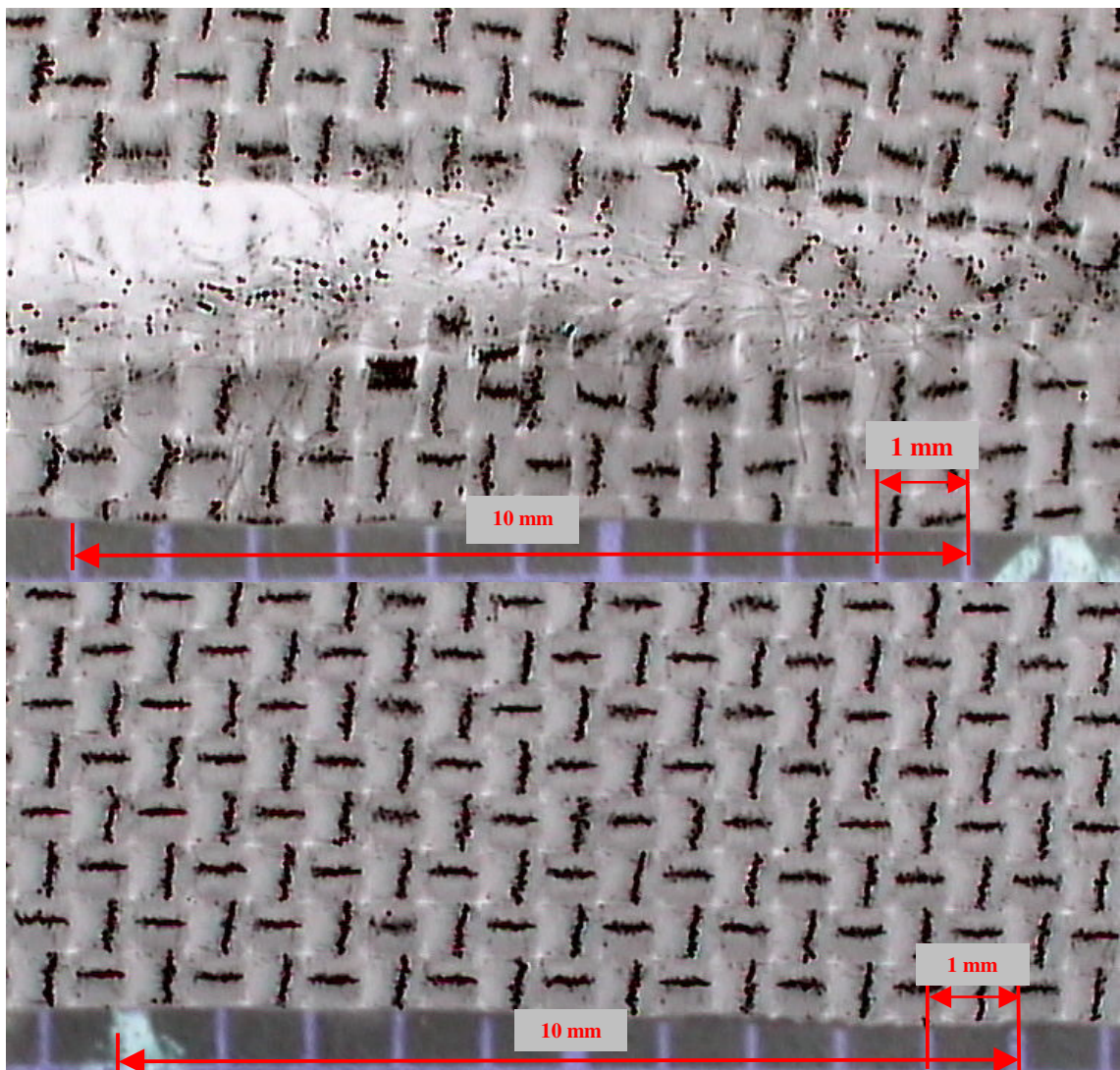


Obr. A3 Unovas, Plošná hmotnost 82g/m²

Upana 100% Polyamid, Plošná hmotnost 240g/m², Dostava 15 x 15 nití na 1cm².

Pomocí tohoto invertovaného obrazu můžeme subjektivně říci, že:

- jde o poměrně stejnoměrnou tkaninu,
- hustota tkaniny, tzv. dostava pomocí milimetrového přiloženého měřítka ve spodní části obrazu byla potvrzena,
- útkové i osnovní nitě jsou tvořeny přízí a nejsou
- tmavá pole v místě osnovních a útkových přízí zobrazují odraz dopadajícího světla, který je vyšší
- nízká propustnost tkaniny
- v oblasti trhliny dochází ke snadnému uvolnění útkových nití a k ojednocování vláken v přízi.

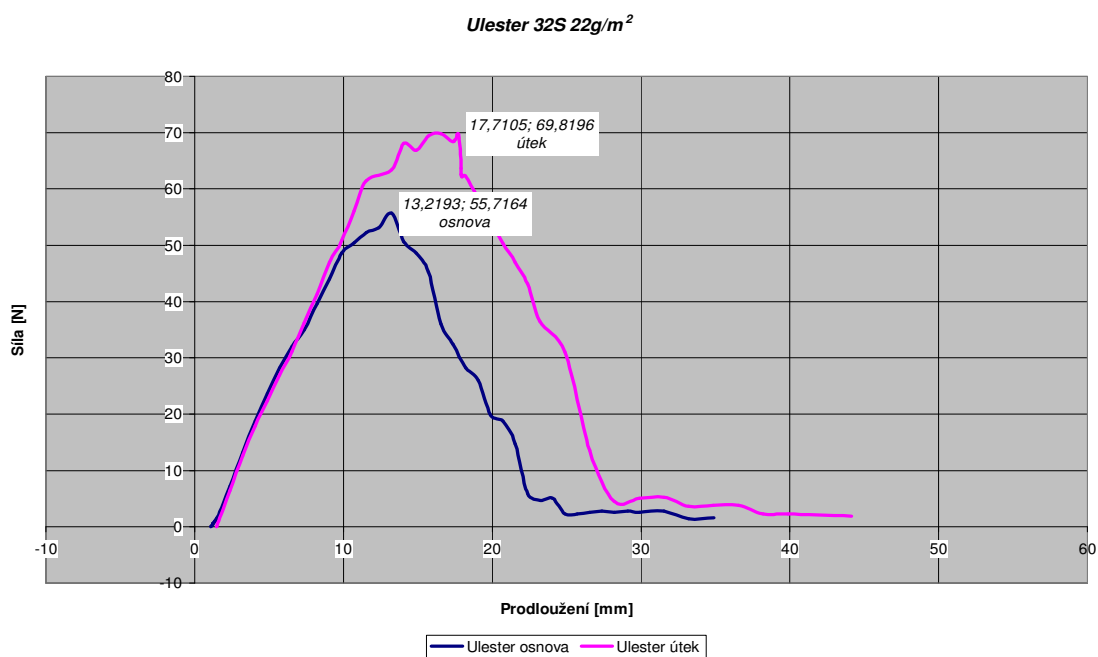


Obr. A4 Upana, Plošná hmotnost 240g/m²

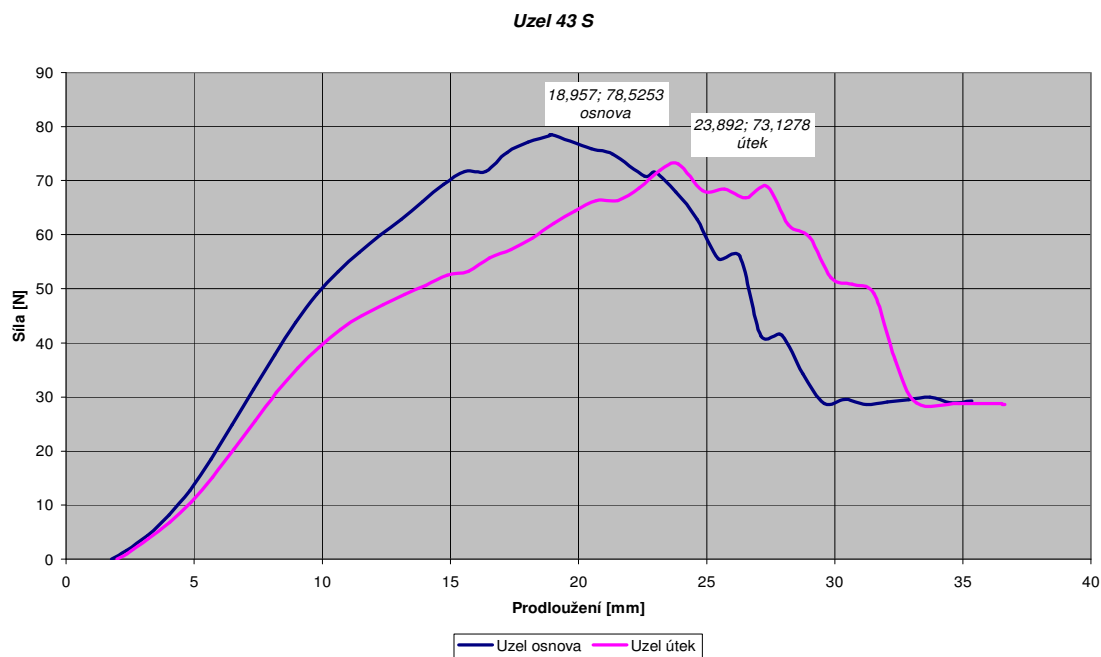
Příloha B

Tahové křivky měřených vzorků s trhlinou

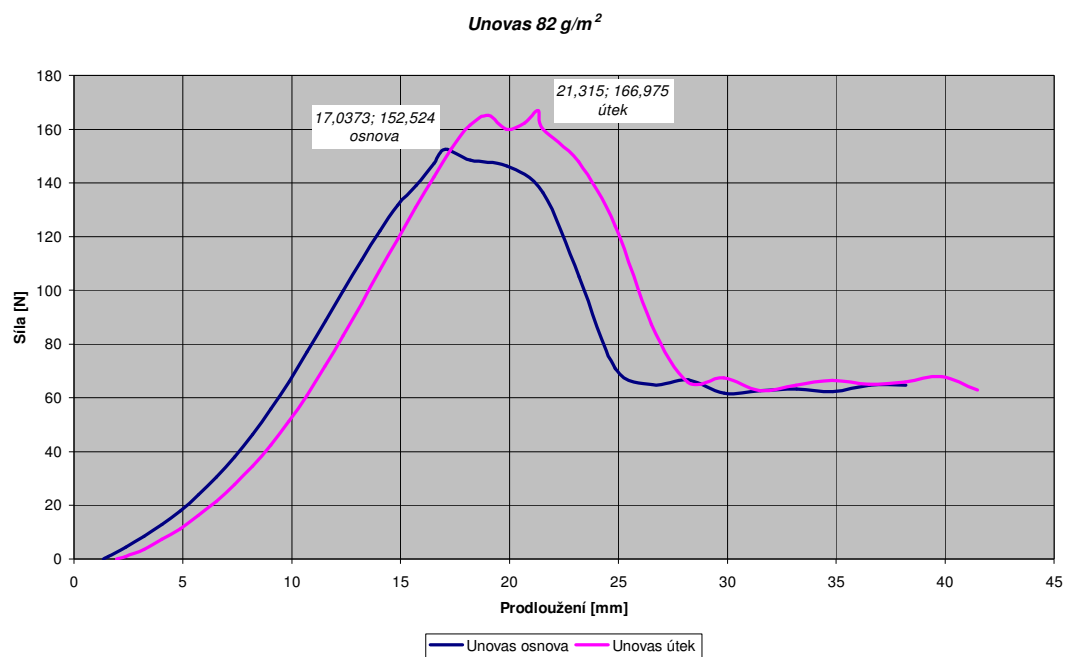
Důkaz anizotropního chování tkanin



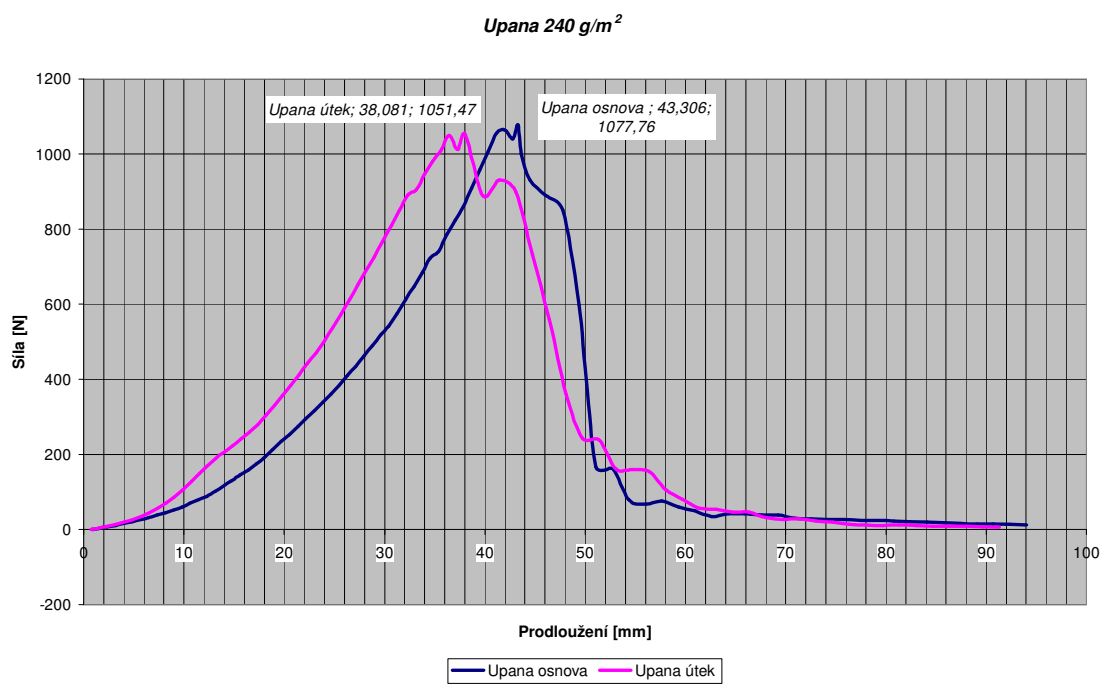
Obr. B1 Ulester 32 S měřený podél osnovy a podél útku



Obr. B2 Uzel 43 S měřený podél osnovy a podél útku



Obr. B3 Unovas měřený podél osnovy a podél útku



Obr. B4 Upana měřená podél osnovy a podél útku

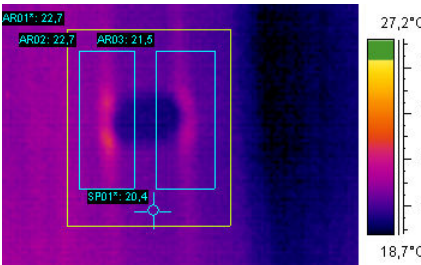

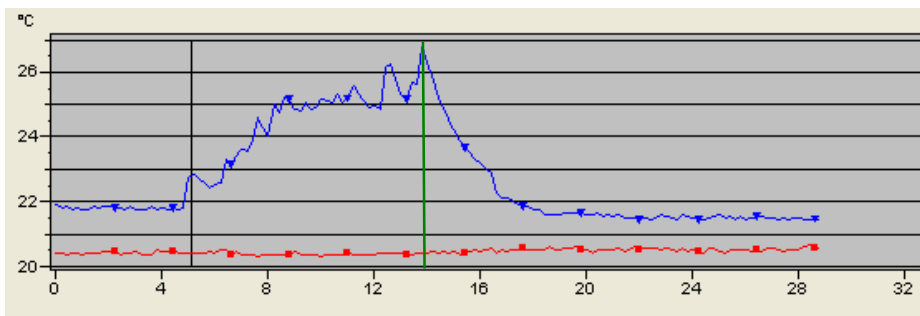
Příloha C

Trendové křivky a obrazové výstupy ze softwaru

ThermaCAMTM Researcher Professional 2.8

Důkaz anizotropního chování tkanin

Tab. C1 Ulester 32 S o plošné hmotnosti 22g/m² ÚTEK

Ulester 32 S o plošné hmotnosti 22g/m ²																				
Označení vzorku a datum měření	1376_1807_Ulester1U ÚTEK																			
Oblasti změn	Počáteční destrukce	Maximální teploty vůči konstantní teplotě																		
Útek																				
Graf útek																				
První místo destrukce v oblasti AR02	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td>✓ SP01*</td><td>Temp</td><td>20,6</td><td>10:34:30,540</td><td>20,4</td><td>10:34:06,840 (0:00:05,100)</td></tr><tr><td>✓ AR01*</td><td>Max</td><td>21,5</td><td>10:34:30,540</td><td>22,8</td><td>10:34:06,840 (0:00:05,100)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	✓ SP01*	Temp	20,6	10:34:30,540	20,4	10:34:06,840 (0:00:05,100)	✓ AR01*	Max	21,5	10:34:30,540	22,8	10:34:06,840 (0:00:05,100)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
✓ SP01*	Temp	20,6	10:34:30,540	20,4	10:34:06,840 (0:00:05,100)															
✓ AR01*	Max	21,5	10:34:30,540	22,8	10:34:06,840 (0:00:05,100)															
Maximální teplota v oblasti AR01	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td>✓ SP01*</td><td>Temp</td><td>20,6</td><td>10:34:30,540</td><td>20,4</td><td>10:34:15,540 (0:00:13,800)</td></tr><tr><td>✓ AR01*</td><td>Max</td><td>21,5</td><td>10:34:30,540</td><td>26,8</td><td>10:34:15,540 (0:00:13,800)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	✓ SP01*	Temp	20,6	10:34:30,540	20,4	10:34:15,540 (0:00:13,800)	✓ AR01*	Max	21,5	10:34:30,540	26,8	10:34:15,540 (0:00:13,800)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
✓ SP01*	Temp	20,6	10:34:30,540	20,4	10:34:15,540 (0:00:13,800)															
✓ AR01*	Max	21,5	10:34:30,540	26,8	10:34:15,540 (0:00:13,800)															
Přírůstek teploty [%]	11,76%	31,37%																		

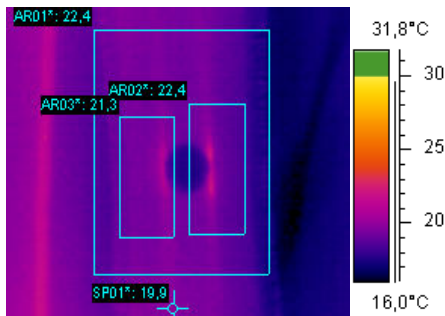
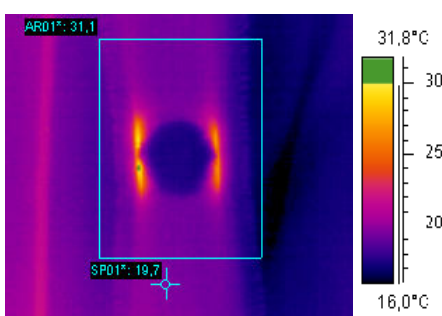
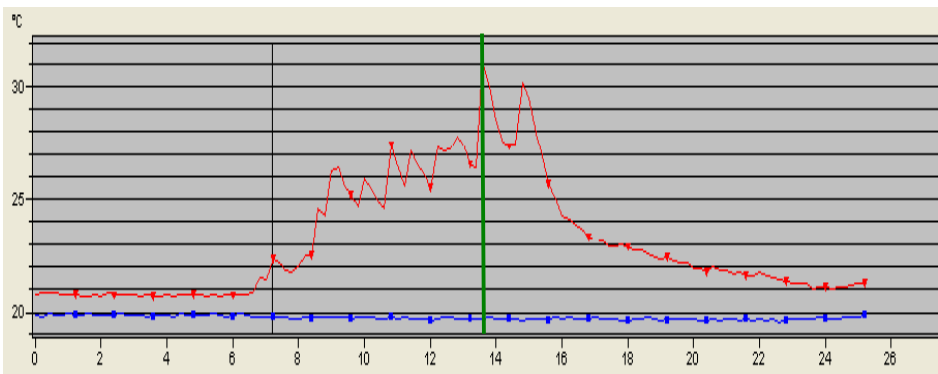
Tab. C2 Ulester 32 S o plošné hmotnosti 22g/m² OSNOVA

Ulester 32 S o plošné hmotnosti 22g/m ²																				
Označení vzorku a datum měření	1383_1807_Ulester1O OSNOVA																			
Oblasti změn	Počáteční destrukce	Maximální teploty vůči konstantní teplotě																		
Osnova																				
Graf osnova																				
První místo destrukce v oblasti AR02	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> SP01*</td><td>Temp</td><td>19,8</td><td>11:25:14,930</td><td>19,9</td><td>11:24:52,530 (0:00:04,400)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> AR01*</td><td>Max</td><td>20,4</td><td>11:25:14,930</td><td>22,3</td><td>11:24:52,530 (0:00:04,400)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	19,8	11:25:14,930	19,9	11:24:52,530 (0:00:04,400)	<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	20,4	11:25:14,930	22,3	11:24:52,530 (0:00:04,400)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	19,8	11:25:14,930	19,9	11:24:52,530 (0:00:04,400)															
<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	20,4	11:25:14,930	22,3	11:24:52,530 (0:00:04,400)															
Maximální teplota v oblasti AR01	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> SP01</td><td>Temp</td><td>19,8</td><td>11:25:14,930</td><td>19,9</td><td>11:24:58,730 (0:00:10,800)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> AR01</td><td>Max</td><td>20,4</td><td>11:25:14,930</td><td>25,4</td><td>11:24:58,730 (0:00:10,800)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	<input checked="" type="checkbox"/> SP01	Temp	19,8	11:25:14,930	19,9	11:24:58,730 (0:00:10,800)	<input checked="" type="checkbox"/> AR01	Max	20,4	11:25:14,930	25,4	11:24:58,730 (0:00:10,800)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
<input checked="" type="checkbox"/> SP01	Temp	19,8	11:25:14,930	19,9	11:24:58,730 (0:00:10,800)															
<input checked="" type="checkbox"/> AR01	Max	20,4	11:25:14,930	25,4	11:24:58,730 (0:00:10,800)															
Přírůstek teploty [%]	12,06%	27,64%																		

Tab. C3 Uzel 43 S o plošné hmotnosti 35g/m² ÚTEK

Uzel 43 S o plošné hmotnosti 35g/m ²																				
Označení vzorku a datum měření	1374_1807_Uzel ÚTEK																			
Oblasti změn	Počáteční destrukce	Maximální teploty vůči konstantní teplotě																		
Grafické vyjádření																				
První místo destrukce v oblasti AR02	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> SP01*</td><td>Temp</td><td>21,4</td><td>10:18:07,610</td><td>21,6</td><td>10:17:17,610 (0:00:07,420)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> AR01*</td><td>Max</td><td>22,5</td><td>10:18:07,610</td><td>24,3</td><td>10:17:17,610 (0:00:07,420)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	21,4	10:18:07,610	21,6	10:17:17,610 (0:00:07,420)	<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	22,5	10:18:07,610	24,3	10:17:17,610 (0:00:07,420)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	21,4	10:18:07,610	21,6	10:17:17,610 (0:00:07,420)															
<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	22,5	10:18:07,610	24,3	10:17:17,610 (0:00:07,420)															
Maximální teplota v oblasti AR01	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> SP01*</td><td>Temp</td><td>21,4</td><td>10:18:07,610</td><td>21,3</td><td>10:17:27,800 (0:00:17,610)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> AR01*</td><td>Max</td><td>22,5</td><td>10:18:07,610</td><td>34,3</td><td>10:17:27,800 (0:00:17,610)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	21,4	10:18:07,610	21,3	10:17:27,800 (0:00:17,610)	<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	22,5	10:18:07,610	34,3	10:17:27,800 (0:00:17,610)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	21,4	10:18:07,610	21,3	10:17:27,800 (0:00:17,610)															
<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	22,5	10:18:07,610	34,3	10:17:27,800 (0:00:17,610)															
Přírůstek teploty [%]	13,55%	60,28%																		


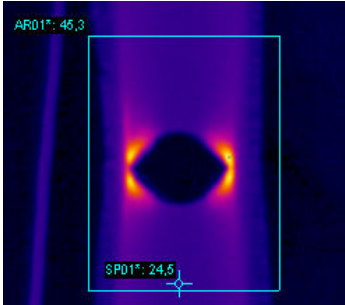
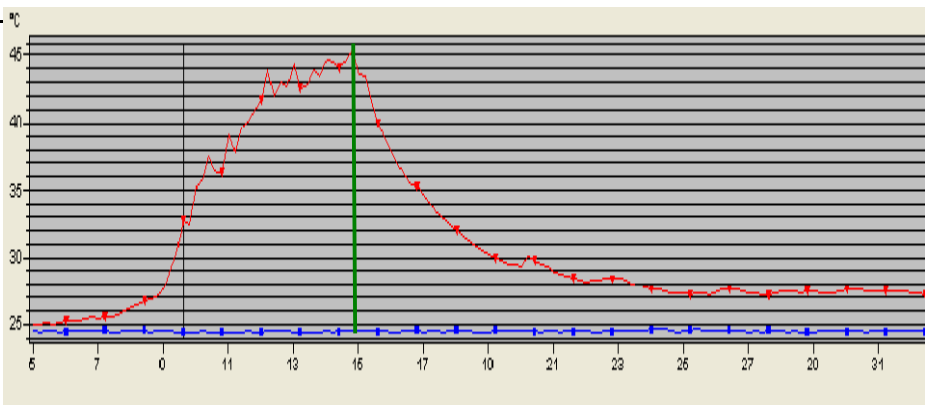
Tab. C4 Uzel 43 S o plošné hmotnosti 35g/m² OSNOVA

Označení vzorku a datum měření	1367_1707_UzelO																			
	OSNOVA																			
Oblasti změn	Počáteční destrukce	Maximální teploty vůči konstantní teplotě																		
Osnova																				
Graf osnova																				
První místo destrukce v oblasti AR02	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> SP01*</td><td>Temp</td><td>19,9</td><td>8:20:57,440</td><td>19,8</td><td>8:20:39,420 (0:00:07,180)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> AR01*</td><td>Max</td><td>21,3</td><td>8:20:57,440</td><td>22,3</td><td>8:20:39,420 (0:00:07,180)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	19,9	8:20:57,440	19,8	8:20:39,420 (0:00:07,180)	<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	21,3	8:20:57,440	22,3	8:20:39,420 (0:00:07,180)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	19,9	8:20:57,440	19,8	8:20:39,420 (0:00:07,180)															
<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	21,3	8:20:57,440	22,3	8:20:39,420 (0:00:07,180)															
Maximální teplota v oblasti AR01	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> SP01</td><td>Temp</td><td>19,9</td><td>8:20:57,440</td><td>19,8</td><td>8:20:45,840 (0:00:13,600)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> AR01</td><td>Max</td><td>21,3</td><td>8:20:57,440</td><td>31,1</td><td>8:20:45,840 (0:00:13,600)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	<input checked="" type="checkbox"/> SP01	Temp	19,9	8:20:57,440	19,8	8:20:45,840 (0:00:13,600)	<input checked="" type="checkbox"/> AR01	Max	21,3	8:20:57,440	31,1	8:20:45,840 (0:00:13,600)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
<input checked="" type="checkbox"/> SP01	Temp	19,9	8:20:57,440	19,8	8:20:45,840 (0:00:13,600)															
<input checked="" type="checkbox"/> AR01	Max	21,3	8:20:57,440	31,1	8:20:45,840 (0:00:13,600)															
Přírůstek teploty [%]	13,13 %	57,07 %																		

Tab. C5 Unovas o plošné hmotnosti 82g/m² OSNOVA

Unovas o plošné hmotnosti 82g/m ²																				
Označení vzorku a datum měření	1381_1807_Unovas_O OSNOVA																			
Oblasti změn	Počáteční destrukce	Maximální teploty vůči konstantní teplotě																		
Grafické vyjádření																				
Graf osnova																				
První místo destrukce v oblasti AR02	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> SP01*</td><td>Temp</td><td>24,0</td><td>11:02:03,930</td><td>24,0</td><td>11:01:35,520 (0:00:07,990)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> AR01*</td><td>Max</td><td>26,3</td><td>11:02:03,930</td><td>31,7</td><td>11:01:35,520 (0:00:07,990)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	24,0	11:02:03,930	24,0	11:01:35,520 (0:00:07,990)	<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	26,3	11:02:03,930	31,7	11:01:35,520 (0:00:07,990)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	24,0	11:02:03,930	24,0	11:01:35,520 (0:00:07,990)															
<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	26,3	11:02:03,930	31,7	11:01:35,520 (0:00:07,990)															
Maximální teplota v oblasti AR01	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> SP01*</td><td>Temp</td><td>24,0</td><td>11:02:03,930</td><td>24,1</td><td>11:01:40,510 (0:00:12,980)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> AR01*</td><td>Max</td><td>26,3</td><td>11:02:03,930</td><td>40,8</td><td>11:01:40,510 (0:00:12,980)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	24,0	11:02:03,930	24,1	11:01:40,510 (0:00:12,980)	<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	26,3	11:02:03,930	40,8	11:01:40,510 (0:00:12,980)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	24,0	11:02:03,930	24,1	11:01:40,510 (0:00:12,980)															
<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	26,3	11:02:03,930	40,8	11:01:40,510 (0:00:12,980)															
Přírůstek teploty [%]	31,54%	69,29%																		

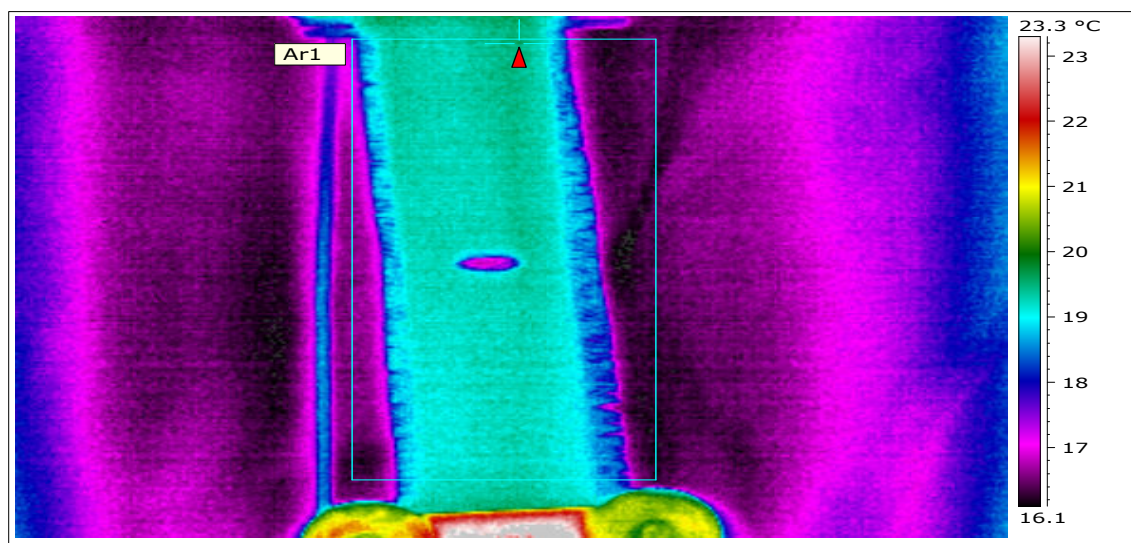
Tab. C6 Unovas o plošné hmotnosti 82g/m² ÚTEK

Unovas o plošné hmotnosti 82g/m ²																				
Vzorek - označení a datum měření	1373_1807_Unovas U ÚTEK																			
Oblasti změn	Počáteční destrukce	Maximální teploty vůči konstantní teplotě																		
Grafické vyjádření	<div><div></div><div></div></div>																			
graf útek																				
První místo destrukce v oblasti AR02	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> SP01*</td><td>Temp</td><td>24,5</td><td>9:54:04,970</td><td>24,5</td><td>9:53:25,765 (0:00:09,615)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> AR01*</td><td>Max</td><td>25,0</td><td>9:54:04,970</td><td>32,7</td><td>9:53:25,765 (0:00:09,615)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	24,5	9:54:04,970	24,5	9:53:25,765 (0:00:09,615)	<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	25,0	9:54:04,970	32,7	9:53:25,765 (0:00:09,615)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	24,5	9:54:04,970	24,5	9:53:25,765 (0:00:09,615)															
<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	25,0	9:54:04,970	32,7	9:53:25,765 (0:00:09,615)															
Maximální teplota v oblasti AR01	<table><tr><th>Label</th><th>Function</th><th>Value</th><th>Time</th><th>Cursor</th><th>Cursor time</th></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> SP01*</td><td>Temp</td><td>24,5</td><td>9:54:04,970</td><td>24,5</td><td>9:53:30,950 (0:00:14,800)</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> AR01*</td><td>Max</td><td>25,0</td><td>9:54:04,970</td><td>45,2</td><td>9:53:30,950 (0:00:14,800)</td></tr></table>		Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time	<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	24,5	9:54:04,970	24,5	9:53:30,950 (0:00:14,800)	<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	25,0	9:54:04,970	45,2	9:53:30,950 (0:00:14,800)
Label	Function	Value	Time	Cursor	Cursor time															
<input checked="" type="checkbox"/> SP01*	Temp	24,5	9:54:04,970	24,5	9:53:30,950 (0:00:14,800)															
<input checked="" type="checkbox"/> AR01*	Max	25,0	9:54:04,970	45,2	9:53:30,950 (0:00:14,800)															
Přírůstek teploty [%]	33,47%	84,90%																		

Příloha D

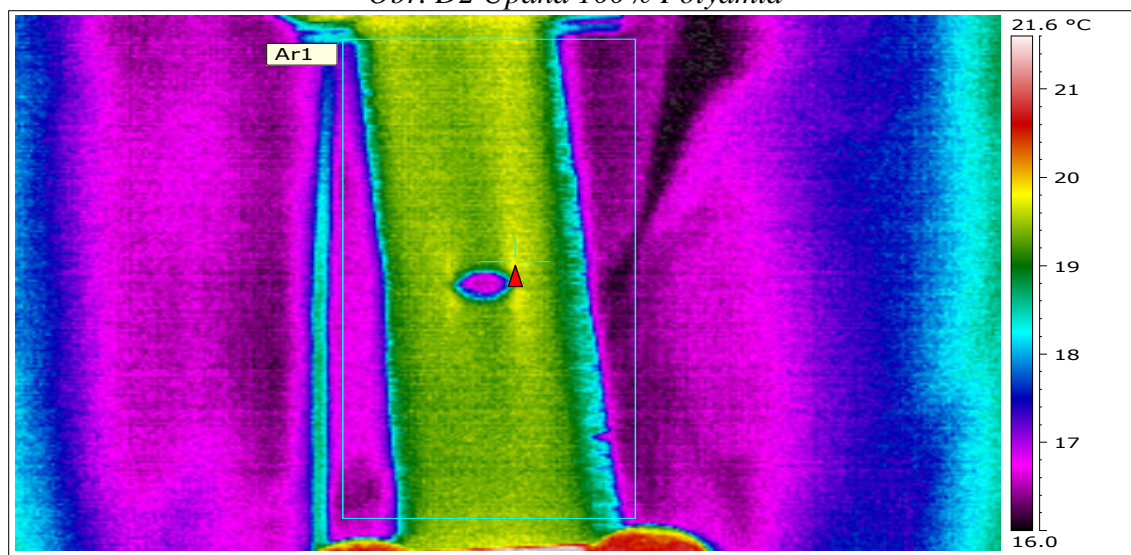
Sledování bodu s nejvyšší teplotou

Obr. D1 Upana 100% Polyamid, Plošná hmotnosť 240g/m², Dostava 15 x 15 nití na 1cm².



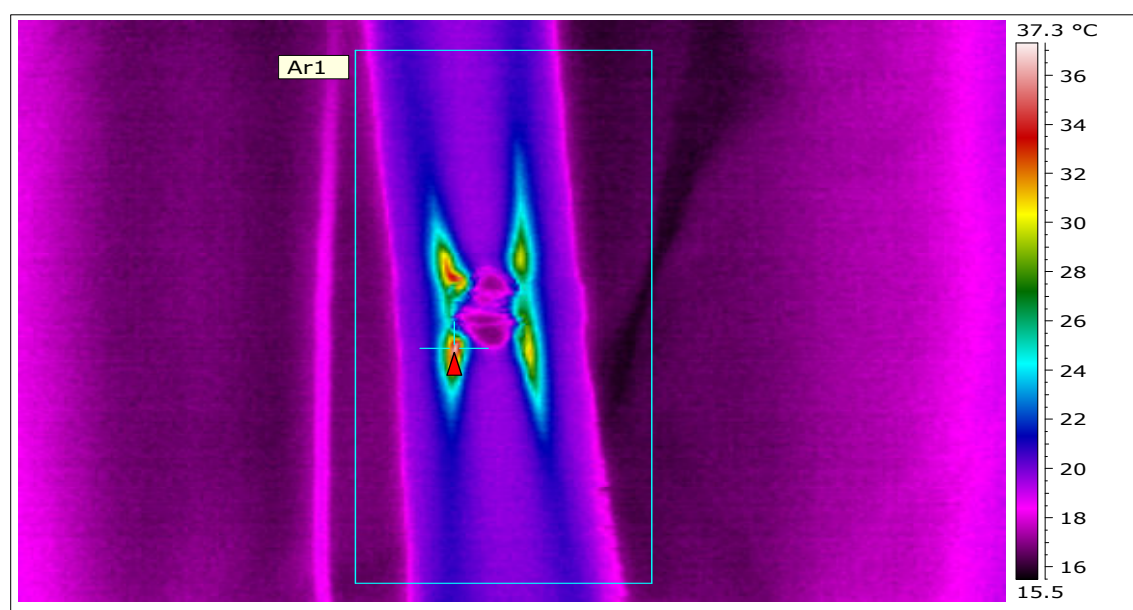
Date	13.7.2007
Filename	001.fff
Max Temperature	23.9 °C
Min Temperature	15.9 °C
Image Time	8:06:26
Ar1 Max. Temperature	19.8 °C

Obr. D2 Upana 100% Polyamid



Date	13.7.2007
Filename	015.fff
Max Temperature	22.2 °C
Min Temperature	15.8 °C
Image Time	8:06:32
Ar1 Max. Temperature	19.9 °C

Obr. D3 Bod maximální teploty

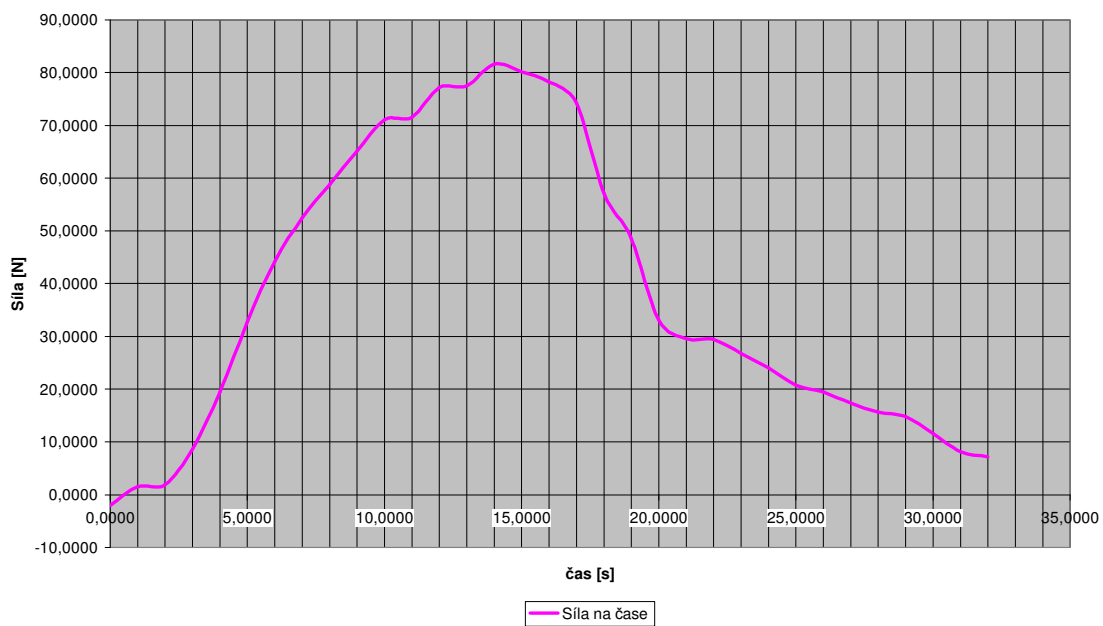


Date	13.7.2007
Filename	058.fff
Max Temperature	37.0 °C
Min Temperature	15.7 °C
Image Time	8:06:49
Ar1 Max. Temperature	37.0 °C

Příloha E

Pevnost a tažnost pro Uzel 43S, zatížený podél osnovy

Závislost síly na čase



Síla na prodloužení

